corso di RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 1 - 6 maggio 1961 - un fascicolo lire 150 31° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478

MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.

In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.

Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

FORME D'ONDA non SINUSOIDALI

Le tensioni alternate di cui ci siamo occupati fino ad ora nel nostro studio, o per meglio dire nel nostro esame del loro comportamento rispetto ai circuiti, sono tutte di tipo sinusoidale. Ciò, sia per quanto riguarda le frequenze molto basse (ad esempio le tensioni di rete a 50 Hz), che per quanto riguarda le audio frequenze o Alte Frequenze. Abbiamo visto come si comportano le induttanze, le capacità, i circuiti amplificatori a valvola ed a transistori e — più in generale — qualunque tipo di circuito elettronico, sempre e solamente rispetto ai segnali di tale genere.

Occorre tuttavia notare che, mentre per quanto riguarda le tensioni di rete e le oscillazioni ad Alta Frequenza usate nella radiodiffusione, si tratta quasi sempre di segnali sinusoidali, nel caso delle audio frequenze, ossia di quei segnali elettrici che rappresentano fedelmente l'andamento delle onde sonore, solo raramente si ha a che fare con forme d'onda perfettamente sinusoidali.

Consideriamo, ad esempio, il segnale elettrico che proviene da un microfono, in relazione ai diversi tipi di suoni che possono agire su quest'ultimo:

1) i rumori sono rappresentati da un susseguirsi casuale di onde di diversa forma e frequenza, aventi comunque un andamento del tutto irregolare;

2) i suoni emessi dalla voce umana presentano una certa regolarità, ma risultano sempre costituiti da forme d'onda estremamente complesse;

3) le note provenienti da uno strumento musicale, determinano, invece, segnali che già si possono classificare tra le forme d'onda periodiche.

Per forma d'**onda periodica** si intende il susseguirsi di onde che, pur non essendo — in generale — sinusoidali, presentano, tuttavia, una certa regolarità nel senso che, ad intervalli di tempo costanti (e precisamente pari al periodo dell'onda in questione) assumono un andamento eguale a quello del ciclo precedente. In tal modo, si ha un susseguirsi regolare di cicli che, pur potendo essere nella loro forma anche molto complessi, risultano tutti eguali fra loro.

Se prendiamo in considerazione, ad esempio, il segnale proveniente dal suono di un violino — segnale rappresentato alla **figura 1** — vediamo che un intero ciclo dura dal punto *A* al punto *B*, dando luogo ad una forma d'onda che si differenzia in modo notevole da quella sinusoidale a noi nota. Questi cicli, tuttavia, si ripetono consecutivamente e sono tutti eguali tra loro; è proprio questa caratteristica che trasforma un suono generico in una nota musicale.

Tenendo conto di quanto abbiamo detto, si comprende che, per poter accertare la qualità di un amplificatore di Bassa Frequenza, non è sufficiente prendere in considerazione il suo comportamento rispetto a segnali di tipo sinusoidale, ma bisogna tenere conto che i suoni musicali possono avere elementi anche del tutto diversi, i quali non devono essere modificati, ossia « distorti », durante il processo di amplificazione.

Lo studio delle forme d'onda non sinusoidali, tuttavia, non è importante solo per quanto riguarda la riproduzione delle audio frequenze. Stanno infatti assumendo importanza sempre più rilevante, nella tecnica elettronica, le forme d'onda aventi un andamento di tipo geometrico, quali quelle rappresentate alla **figura 2**. In essa si può vedere in **A** un'onda quadra ed un'onda rettangolare, in **B** un'onda a « dente di sega » ed un'onda triangolare, in **C** un'onda trapezoidale ed un'onda esponenziale. Gli andamenti rappresentati nella figura sono quelli ideali; di solito, nella pratica, non è strettamente necessario, ed è anche assai difficile, ottenere forme d'onda che siano perfettamente eguali a quelle ideali.

Le forme d'onda geometriche di cui si è parlato, non provengono, come quelle accennate in precedenza, da suoni; esse vengono invece generate appositamente mediante opportuni circuiti elettronici, di cui ci occuperemo in un secondo tempo.

COMPOSIZIONE delle ONDE non SINUSOIDALI

Come già detto, tutti i concetti trattati nelle lezioni precedenti venivano riferiti a segnali di tipo sinusoidale. Poichè ogni tipo di forma d'onda si comporta in modo diverso al suo passaggio attraverso un circuito elettronico, si potrebbe pensare che sia necessario costruire, per ogni tipo di onda che interessa, una nuova teoria dei circuiti elettronici.

Si può evitare ciò, tenedo conto del **teorema di Fourier**, fondamentale nello studio delle forme d'onda ed in tutta l'elettronica. Vediamo ora, senza entrare in quei dettagli matematici che esulano dai fini del nostro Corso, di illustrarne il contenuto nel modo più chiaro possibile.

Sommando più segnali sinusoidali — diversi tra loro in ampiezza, frequenza e fase — si ottiene un segnale che, pur non essendo più sinusoidale, è pur sempre

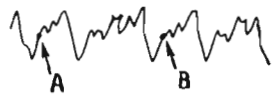



Fig. 1 - Forma d'onda di un suono emesso da un violino.

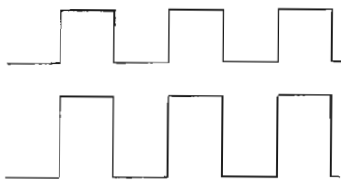



Fig. 2-A - Forme d'onda quadra (in alto), e rettangolare (in basso).

Fig. 2-B - Forme d'onda a dente di sega, in alto, e triangolare, in basso.

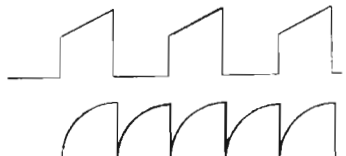



Fig. 2-C - Forme d'onda trapezoidale (in alto), ed esponenziale (in basso).

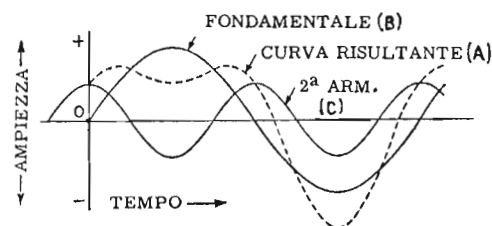



Fig. 3 - Segnale periodico (A), costituito dalla sovrapposizione di una frequenza fondamentale (B), alla seconda armonica della stessa (C). Questa forma d'onda può assumere un andamento diverso se varia la relazione di fase tra i due segnali sovrapposti.

periodico, ossia si ripete con cicli costanti. Ci domandiamo ora: sarà possibile anche effettuare il procedimento inverso, ossia, dato un qualunque segnale periodico non sinusoidale, suddividerlo in un certo numero di segnali sinusoidali di diverse ampiezze, frequenze e fasi, tali che, sommati tra loro, diano come risultato il segnale di partenza?

A questa domanda risponde appunto con precisione, il teorema di Fourier: un segnale di forma qualunque, purchè sia periodico, può sempre essere suddiviso in un certo numero di segnali di tipo sinusoidale. Le frequenze di questi singoli segnali sono: la stessa del segnale periodico d'origine, (frequenza *fondamentale* o prima armonica), la frequenza doppia (*seconda armonica*, o armonica del secondo ordine), la frequenza tripla (*terza armonica*, od armonica del terzo ordine) e così via.

Nel caso di alcuni tipi di forma d'onda periodica si può avere una suddivisione in un numero finito di armoniche. Ad esempio, alla **figura 3**, vediamo rappresentato un segnale periodico (**A**) che può venire decomposto in due soli segnali sinusoidali (**B**) e (**C**), che rappresentano, rispettivamente, la prima e la seconda armonica. Le armoniche superiori al secondo ordine in questo caso non sono presenti.

In altri casi occorre invece introdurre, per poter rappresentare esattamente un segnale, un numero assai superiore di armoniche. Altre volte, infine, il numero delle armoniche che occorre considerare è infinito. Vedremo in seguito parecchi esempi di tali tipi di segnale.

In quest'ultimo caso, comunque, si può tener conto del fatto che più si sale con l'ordine delle armoniche, più diminuisce la loro ampiezza, e quindi la loro importanza ai fini di una accurata rappresentazione del segnale di partenza.

Come abbiamo visto, le frequenze delle varie armoniche che compongono un segnale periodico qualunque, possono essere determinate molto facilmente moltiplicando la frequenza fondamentale per 1, per 2, per 3 e così via. La determinazione delle ampiezze e delle fasi di tali segnali sinusoidali non è invece così immediata e richiede, se si eccettuano alcuni casi particolari, calcoli matematici di natura notevolmente complessa, che tralasciamo di esporre.

Oltre a quanto detto finora riguardo alla rappresentazione di un'onda non sinusoidale, occorre tener conto della cosidetta **componente continua**. Infatti, una volta raggiunto — mediante il teorema di Fourier — l'andamento esatto dell'onda originale, bisogna considerare che questa può trovarsi sia centrata rispetto all'asse della tensione zero, che spostata in senso positivo o negativo. L'ampiezza di questo spostamento rappresenta appunto la componente continua del segnale. Ad esempio, alla **figura 4**, vediamo in **A** un'onda con componente continua nulla, mentre in **B** la stessa onda presenta una componente positiva V_c.

Per poter determinare il comportamento di un'onda periodica non sinusoidale al suo passaggio in un circuito elettronico qualunque, ci basta suddividerla nelle singole armoniche che la compongono, considerare separatamente i comportamenti di queste, ed infine ricomporre segnali presenti all'uscita. Ciò vale, in particolare, sia per quanto riguarda le audio frequenze, che per quanto riguarda le varie forme d'onda di tipo geometrico rappresentate alla figura 2.

Ad esempio, effettuando un'analisi della forma d'onda riportata in figura 1 (suono di un violino), si ottiene uno spettro di armoniche del tipo di quello rappresentato alla **figura 5**. Come si può notare, la frequenza fondamentale è, in questo caso, di 440 Hz, mentre le armoniche si estendono teoricamente all'infinito: in pratica fino a circa 15.000 Hz. Volendo amplificare fedelmente tale suono non è quindi sufficiente un dispositivo che permetta il passaggio dei soli 440 Hz (frequenza fondamentale), ma occorre un amplificatore la cui banda passante si estenda, all'estremo alto, almeno fino a 15.000 Hz. In caso contrario, si introduce una variazione del segnale presente all'uscita, derivante dalla mancanza delle armoniche superiori, e si ha quindi un'alterazione che possiamo definire distorsione di forma.

Mentre *l'altezza* di un suono musicale viene determinata dalla frequenza fondamentale, *il timbro* viene determinato dal diverso contenuto in armoniche superiori. Ad esempio, se suoniamo la stessa nota con un violino e con un pianoforte, la frequenza fondamentale è la medesima ma, nonostante ciò, possiamo distinguere le due diverse fonti. Ciò perchè le armoniche, pur essendo ancora eguali come frequenza, sono nettamente diverse per quanto rigurda le ampiezze relative e le fasi. Se si eliminano quindi le armoniche superiori, si

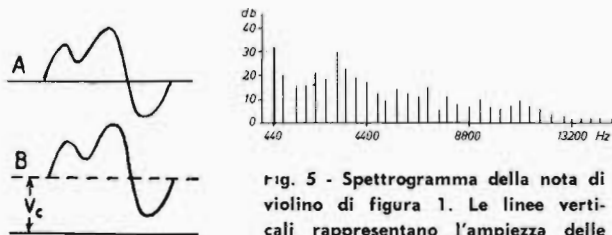



Fig. 4 - Forma d'onda senza componente continua (A) e con componente continua (B). Come si nota, la forma non subisce variazioni.

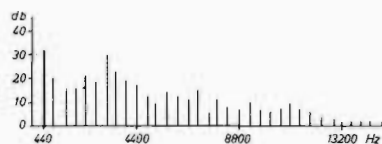



Fig. 5 - Spettrogramma della nota di violino di figura 1. Le linee verticali rappresentano l'ampiezza delle diverse armoniche, la cui frequenza è spressa sulla scala orizzontale. La fondamentale è di 440 Hertz

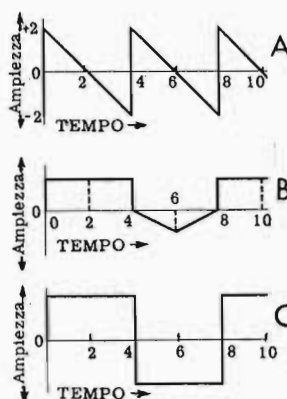



Fig. 6 - Simmetria rispetto all'asse zero (A); simmetria « quarto d'onda » (B) e « mezza onda » (C).

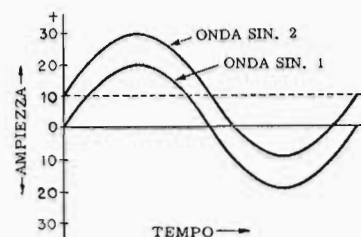



Fig. 7 - Influenza della componente continua nei confronti della simmetria rispetto all'asse zero di un segnale sinusoidale. L'onda 2 è identica all'onda 1, ma non è più simmetrica rispetto all'asse zero.

toglie ad ogni suono musicale il suo carattere, poichè, in tal caso le note provenienti dai diversi strumenti hanno la tendenza a divenire tutte simili tra loro, ossia ad assumere lo stesso timbro.

Da quanto ora detto appare anche la possibilità di produrre elettronicamente, mescolando tra loro i segnali sinusoidali provenienti da oscillatori diversi — le cui frequenze siano tutte multiple di un'unica frequenza fondamentale — i suoni caratteristici di qualunque tipo di strumento.

Questo interessante argomento, riguardante la musica elettronica, verrà da noi sviluppato nel corso di una futura lezione: vogliamo comunque far notare fin d'ora che la realizzazione di apparecchiature elettroniche capaci di generare suoni musicali è interamente fondata sul metodo dell'analisi armonica delle forme d'onda.

SIMMETRIA delle ONDE

Per determinare le ampiezze massime delle armoniche successive di una particolare forma d'onda, vengono usati diversi metodi. Benchè, come abbiamo detto, essi siano di natura piuttosto complessa, in alcuni casi la semplice osservazione della forma d'onda da analizzare fornisce elementi indicativi a proposito delle armoniche, specialmente se mette in rilievo la mancanza di alcune di queste.

Quando una forma d'onda periodica ha lo stesso andamento al di sopra ed al di sotto dell'asse della tensione zero, si dice che essa è **simmetrica** rispetto all'asse zero. Il segnale rappresentato alla **figura 6-A**, è un esempio di onda simmetrica rispetto all'asse zero. La ampiezza infatti è +2 all'istante $t = 0$, e scende a zero all'istante $t = 2$. Successivamente scende fino a — 2, per $t = 4$. La parte positiva di questa forma d'onda è identica alla parte negativa. Si ha quindi simmetria rispetto all'asse zero.

Un segnale periodico presenta una simmetria del tipo « quarto d'onda » quando i due quarti d'onda che si trovano affiancati durante ogni singolo mezzo ciclo sono simmetrici. Un'onda di tal genere si può osservare alla figura 6-**B**. Il primo mezzo ciclo dura dall'origine al tempo $t = 4$. Se, al centro di questo mezzo ciclo, si traccia una retta perpendicolare (tratteggiata in figura), i due quarti d'onda in cui il mezzo ciclo risulta suddiviso sono simmetrici l'uno rispetto all'altro. Analogamente, se consideriamo il mezzo ciclo che va dall'istante $t = 4$ all'istante $t = 8$, e tracciamo la perpendicolare nel punto 6, si ottiene la suddivisione in due quarti d'onda simmetrici.

Una forma d'onda presenta simmetria di tipo « mezza onda », detta anche « simmetria speculare », quando la semionda positiva è simmetrica alla semionda negativa rispetto all'asse zero. Un esempio di questo tipo di simmetria si ha alla figura 6-**C**. Il mezzo ciclo positivo da zero a 4 è esattamente il medesimo del semiciclo negativo da 4 a 8, se si eccettua il cambiamento di polarità.

Notiamo che, mentre quest'ultimo segnale ha anche una simmetria del tipo quarto d'onda, quello rappresentato in B, non presenta anche simmetria speculare o di mezza onda, poichè il semiciclo positivo è diverso dal semiciclo negativo.

EFFETTO della SIMMETRIA sulle ARMONICHE

Se una forma d'onda presenta una data simmetria, si trova che, sia la componente continua che un certo numero di frequenze armoniche possono venire eliminate nella sua analisi.

L'effetto di una simmetria rispetto all'asse zero è rappresentato alla **figura 7**. Sono ivi disegnate due onde sinusoidali. L'onda **1** è simmetrica rispetto all'asse zero. L'onda **2** ha esattamente la medesima forma, ma si trova spostata di dieci volt sopra all'onda 1. Essa non è quindi simmetrica rispetto all'asse zero.

Se aggiungiamo una tensione di dieci volt all'onda 1, le due onde coincidono. Quindi, l'onda 2 è eguale alla somma tra la tensione alternata dell'onda 1 e la tensione continua di dieci volt. L'aggiunta di una componente continua, come abbiamo detto, non comporta alcuna variazione nella forma dell'onda. Da quanto detto è chiaro che, *quando una forma d'onda è simmetrica rispetto all'asse zero, la sua componente continua è eguale a zero*. L'onda 2 è simmetrica rispetto all'asse formato dalla linea tratteggiata al livello dei dieci volt.

Una forma d'onda che è simmetrica rispetto ad un asse indicante una tensione diversa da zero, ha una componente continua pari a questa tensione.

Consideriamo ora l'effetto delle armoniche di ordine pari sulla simmetria di una forma d'onda. Nella **figu-**

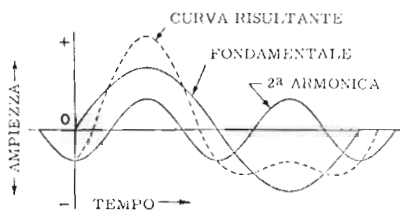



Fig. 8 - Effetto delle armoniche pari sulla simmetria: come si nota, la curva risultante non ha simmetria speculare. Il medesimo fenomeno si manifesta per qualsiasi armonica pari.

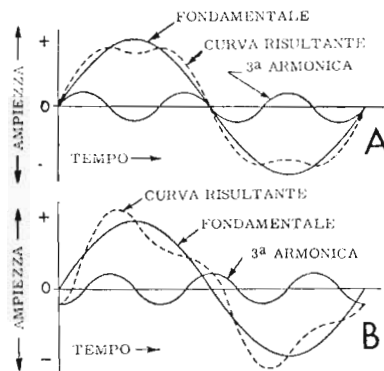



Fig. 9 - Effetto delle armoniche dispari sulla simmetria di un'onda.

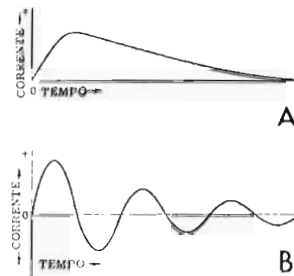



Fig. 10 - Eesempi di forme d'onda aperiodiche: un semplice semiperiodo (A) ed un'onda smorzata (B).

ra 8 è rappresentata la curva ri ultante quando si aggiunge alla fondamentale una seconda armonica. La forma d'onda risultante non ha simmetria speculare. Ciò accade anche quando alla fondamentale vengono aggiunte la quarta, la sesta, o qualunque altra armonica pari. Possiamo quindi concludere che *la presenza di armoniche pari determina una mancanza di simmetria speculare*. Ciò accade indipendentemente dalle fasi dei due segnali che si sommano.

Se invece prendiamo in esame la somma tra la fondamentale e la terza armonica, occorre considerare due casi. Se i due segnali non sono sfasati si ottiene (**figure 9-A**) un segnale che presenta sia simmetria di mezza onda che simmetria quarto d'onda. Se invece si ha uno sfasamento (ad esempio, alla figura 9-**B**, di 30°) si ha sempre la simmetria di mezza onda, mentre viene a mancare la simmetria quarto d'onda.

Possiamo quindi concludere che:

1) una forma d'onda che presenta simmetria rispetto all'asse zero non ha componente continua. Se vi è simmetria rispetto ad un altro asse orizzontale, la componente continua è eguale alla tensione indicata di questo asse.

2) una forma d'onda che presenta simmetria speculare denota la mancanza sia della componente continua che delle armoniche di ordine pari.

3) una forma d'onda che ha sia simmetria speculare che simmetria quarto d'onda, manca di componente continua e di armoniche pari, e le armoniche dispari sono tutte in fase (partono con ampiezza zero all'istante $t = 0$).

4) una forma d'onda che presenta una simmetria speculare rispetto ad un asse orizzontale diverso da zero, ha la componente continua che già abbiamo indicata, però manca di armoniche pari.

METODI di ANALISI delle ONDE non SINUSOIDALI

I concetti di reattanza e di frequenza non possono venire applicati direttamente alle onde non sinusoidali, così come lo potevano essere alle onde sinusoidali. Nel caso delle onde sinusoidali, la corrente che fluisce attraverso un'induttanza o una capacità è pari al rapporto tra la tensione applicata e la reattanza relativa. Sappiamo infatti che la reattanza induttiva è pari a $2\pi fL$, e la reattanza capacitiva a $1/2\pi fC$; in queste espressioni però la frequenza f è quella di una tensione alternata perfettamente sinusoidale. Se la tensione applicata non ha una forma d'onda sinusoidale, queste formule perdono ogni valore, ed in conseguenza, il valore della corrente non può essere determinato con questo metodo. Quindi, per determinare le condizioni che si stabiliscono in un circuito quando ad esso vengono applicate tensioni non sinusoidali, occorrono nuove tecniche, diverse da quelle tradizionali, finora da noi esposte.

Per lo studio dei concetti basilari necessari alla comprensione delle forme d'onda non sinusoidali, si può procedere secondo due diversi metodi.

In uno di questi, abbiamo testè visto che si esprime l'onda in termini di una serie di onde anch'esse sinusoidali, di diverse frequenze, e la somma di questa serie è equivalente all'onda non sinusoidale. Questo metodo permette di considerare l'impedenza standard ottenuta in funzione della frequenza in base alle formule precedentemente citate, poichè l'onda non sinusoidale viene ridotta ad una somma di più onde sinusoidali.

L'altro metodo, si dice del responso alle tensioni transitorie. Un **transitorio** è un'onda non sinusoidale che si determina momentaneamente quando variano le condizioni elettriche di un circuito. Ad esempio, quando in un circuito si chiude o si apre un interruttore, in esso si determina una forma d'onda non sinusoidale che viene denominata « transitorio ». Il metodo della risposta ai transitori sviluppa delle reazioni tra corrente e tensione che possono essere applicate direttamente alle onde non sinusoidali.

Da quanto sopra si rileva che, oltre all'onda periodica di cui si è già detto, esiste un tipo d'onda, non sinusoidale, detto onda aperiodica, che compare cioè ad intervalli irregolari, od anche per una sola volta: è questo appunto, il caso dei transitori. Alla **figura 10** sono visibili due esempi di onde aperiodiche. L'ampiezza dell'onda, misurata in verticale (ossia lungo le parallele all'asse Y) è tracciata in funzione del tempo, misurato in orizzontale (ossia lungo l'asse X).

L'asse orizzontale (asse dei tempi) viene in genere suddiviso in microsecondi, invece che in secondi. Si usa questa unità molto piccola per il fatto che molti transitori avvengono in un tempo molto breve. L'asse Y viene invece suddiviso — come di norma — in unità di misura di tensione o di corrente.

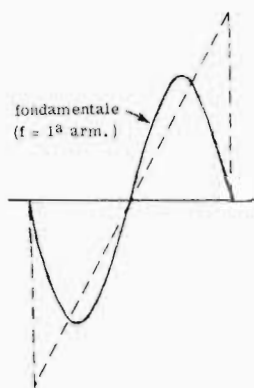



Fig. 11-A - Forma d'onda sinusoidale fondamentale.

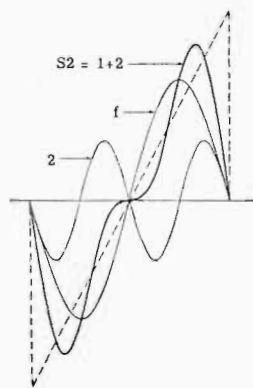



Fig. 11-B - Sovrapposizione della seconda armonica.

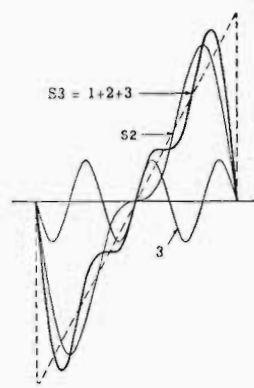



Fig. 11-C - Aggiunta della terza armonica alla 2ª.

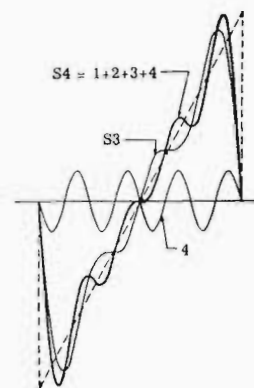



Fig. 11-D - Aggiunta della quarta armonica.

COMPOSIZIONE di UN'ONDA A DENTE DI SEGA

In base a quanto abbiamo sin qui appreso, risulta che qualsiasi forma d'onda non sinusoidale, che si produca periodicamente, può venire costruita combinando una onda sinusoidale alla frequenza fondamentale con altre onde sinusoidali alle frequenze armoniche e, se necessario, con una opportuna tensione continua. Ciascuna delle varie tensioni sinusoidali corrispondenti alle diverse frequenze armoniche deve avere — naturalmente — una determinata caratteristica di ampiezza e di fase. L'onda a dente di sega è ottenuta addizionando ad una fondamentale sinusoidale (**figura 11-A**) le opportune armoniche.

La somma della fondamentale con la sua seconda armonica è rappresentata alla figura **11-B**. La curva risultante, *S2* comincia già ad assomigliare all'onda a dente di sega più che non alla fondamentale da sola (curva 1). I picchi della curva *S2* vengono spinti di lato. Nella figura 11-**C** si vede la curva risultante, *S3*, quando alla fondamentale ed alla seconda armonica si aggiunge anche la terza. In questo caso i picchi sono stati spinti ancora più a lato, e la forma generale comincia già ad assomigliare al dente di sega.

Successivamente, dalla figura 11-**D** alla **11-H**, le forme d'onda si ottengono — come è chiaro dalle figure stesse — aggiungendo ogni volta una successiva armonica (che è di ampiezza sempre minore). La curva della figura 11-H, che contiene le armoniche fino alla settima, è molto vicina al dente di sega (linea tratteggiata), ed aggiungendo altre armoniche superiori ci si avvicinerebbe sempre più. La riproduzione esatta si può ottenere tuttavia solo aggiungendo un numero infinito di armoniche (naturalmente di ampiezza che, progressivamente, tende ad avvicinarsi sempre più allo zero).

COMPOSIZIONE DI UN'ONDA QUADRA

Un altro tipo di onda, usato molto comunemente nelle apparechiature elettroniche è l'onda quadra (rappresentata alla figura 2-B). Quest'onda è composta da una frequenza fondamentale e da un numero infinito di frequenze armoniche. La forma d'onda in questione, tuttavia, ha la particolarità che le armoniche di ordine *pari* (seconda, quarta, sesta ecc.) sono di ampiezza eguale a zero. Solo le armoniche *dispari* (prima, terza, quinta, ecc.) sono contenute nell'onda quadra.

Nella **figura 12-A** sono rappresentate la fondamentale e la terza armonica, nonchè la curva risultante da queste, *S3*. Per ogni ciclo della curva 1 si hanno tre cicli della curva 3. La curva risultante, *S3*, comincia ad avvicinarsi ad un'onda quadra (curva tratteggiata). Nel caso della figura 12-**B**, si è aggiunta alla fondamentale ed alla terza armonica anche la quinta, ottenendosi così una migliore approssimazione. In **C** si è aggiunta la settima armonica. Anche in questo caso, più si aumenta il numero delle armoniche, più ci si avvicina alla curva ideale dell'onda quadra. Il numero delle armoniche necessario per ottenere un'onda perfetta dovrebbe essere infinito, tuttavia, poichè l'importanza delle armoniche va successivamente diminuendo, già prendendo in considerazione le prime dieci diverse da zero si ottiene in pratica una forma d'onda che si avvicina notevolmente al modello desiderato.

Altre forme d'onda — Sommando tra di loro onde sinusoidali di ampiezza, frequenza, e fase appropriate, si può pervenire ad ottenere qualunque tipo di forma d'onda si renda necessaria nell'elettronica.

EFFETTO della BANDA PASSANTE sulle ONDE NON SINUSOIDALI

Quando si applica all'ingresso di un circuito, un segnale non sinusoidale, il numero delle armoniche componenti che compaiono all'uscita dipende dalla ampiezza della banda passante presentata da quel circuito. La banda passante — sappiamo — rappresenta quella gamma di frequenze che il circuito lascia passare con un minimo di attenuazione. Per esempio, consideriamo l'effetto di un circuito la cui banda passante si estenda, all'estremo alto, fino a 3 kHz, su di un segnale ad onda quadra della frequenza fondamentale di 1.000 Hz. Poichè quel circuito è in grado di trasferire all'uscita solo frequenze che non superino i 3.000 Hz, avremo in uscita la presenza della fondamentale e della terza armonica. Le armoniche di ordine superiore saranno invece fortemente attenuate o addirittura mancanti.

In questo caso quindi, benchè in entrata si sia applicata una tensione ad onda quadra, si ottiene in uscita una tensione di forma diversa, simile a quella indica-

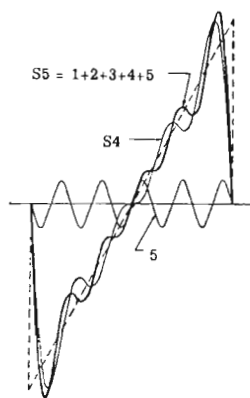



Fig. 11-E - Aggiunta della quinta armonica.

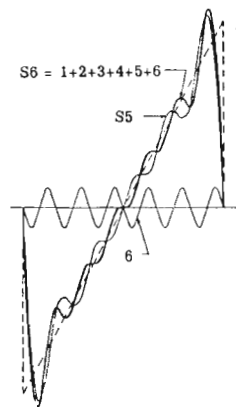



Fig. 11-F - Aggiunta della sesta armonica.

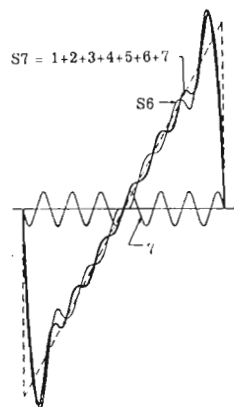



Fig. 11-G - Aaggiunta della settima armonica.

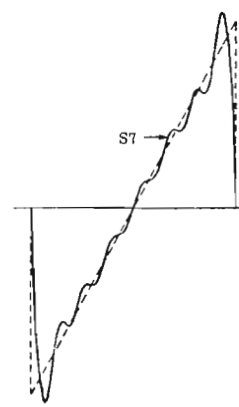



Fig. 11-H - Forma risultante a dente di sega.

ta dalla **figura 13-A**. Se l'ampiezza di banda del circuito venisse estesa fino ai 7 kHz, le frequenze trasferite in uscita giungerebbero fino alla settima armonica, e si otterrebbe quindi una forma d'onda del tipo illustrato dalla figura 13-**B**. Come si vede, la distorsione introdotta in questo secondo caso, pur essendo ancora rilevante, è minore di quella che si era avuta in precedenza con banda passante fino a soli 3 kHz.

Se si aumenta l'ampiezza della banda passante del circuito — in particolare se si eleva il limite superiore delle frequenze riproducibili — viene trasferito in uscita un maggior numero di armoniche, e quindi la forma d'onda somiglià maggiormente a quella presente alla entrata. Una perfetta riproduzione dell'onda presente all'ingresso richiederebbe dal circuito una ampiezza illimitata della banda passante. In pratica però, ciò non si può ottenere, poichè tutti i circuiti hanno, inevitabilmente, dei limiti alla loro banda passante.

L'ampiezza della banda passante necessaria per trasferire una determinata forma d'onda non sinusoidale dipende da due fattori principali: primo, dall'importanza delle armoniche nella varia reciproca relazione e, secondo, dalla funzione che quella data forma d'onda deve svolgere nel circuito.

L'estremo basso della banda passante dipende dalla frequenza fondamentale, essendo quest'ultima la più bassa che occorre trasferire. L'estremo alto dipende invece dal cambiamento più rapido che ha luogo nella forma d'onda.

Poichè l'ampiezza di ogni componente armonica, in generale decresce all'aumentare dell'ordine delle armoniche, l'effetto delle armoniche più alte è molto inferiore a quello delle armoniche basse. La decima armonica, ad esempio, ha un effetto molto inferiore alla seconda, per quanto riguarda la forma dell'onda; analogamente, l'effetto della centesima armonica è assai minore di quello della decima, e così via.

Una buona rappresentazione della forma d'onda può essere ottenuta usando un dato numero di armoniche. L'effetto delle armoniche di ordine superiore dipende dalla composizione dell'onda. Per quanto riguarda alcune forme d'onda, l'ampiezza delle armoniche più alte decresce rapidamente, e già con una banda passante di ampiezza poco rilevante si riesce ad ottenere una buona rappresentazione della forma d'onda. Per ciò che si riferisce ad altre forme d'onda invece, l'ampiezza delle armoniche di ordine superiore decresce lentamente, e quindi, per ottenere una buona riproduzione, è richiesta una banda passante notevolmente ampia.

La minima ampiezza richiesta per la banda passante dipende altresì, come si è accennato, dalle funzioni che il segnale non sinusoidale dovrà compiere in seguito. Infatti, a questo proposito, se la forma d'onda può venire in parte modificata senza per questo compromettere il buon funzionamento dell'intera apparecchiatura, si può usare una banda passante più ristretta. Se, invece, la forma d'onda deve essere riprodotta con alto grado di precisione, è indispensabile che il circuito presenti una banda passante molto più grande.

BANDA PASSANTE per SEGNALI ad IMPULSI

Viene definito **impulso** un rapido aumento con una rapida caduta di tensione o di corrente. Le onde quadre e rettangolari (figura 2-A), sono esempi di forme d'onda ad impulso; vengono comunemente usate in molte apparecchiature elettroniche, specialmente nei radar, negli strumenti di misura, in televisione ecc.

Il **tempo di salita** di un impulso, t_r, è l'intervallo di tempo richiesto da un impulso per salire dal 10 al 90% della sua ampiezza totale (**figura 14**). La **durata** dell'impulso, t_d, è l'intervallo di tempo durante il quale l'impulso rimane alla sua massima ampiezza. Il **tempo di discesa**, t_f, è il tempo richiesto dall'impulso per cadere dal valore massimo a zero. Questi tempi t_r, t_d e t_f, sono i « parametri » che servono per individuare, assieme al valore dell'ampiezza massima, il tipo dell'impulso che si considera. A scopo di chiarimento ricordiamo che si definiscono « parametri » le grandezze o proprietà caratteristiche che, durante lo studio di un dato fenomeno rimangono o sono mantenute costanti.

Quella parte dell'impulso che corrisponde al tempo t_r, ossia al tempo di salita, viene anche detta *fronte ascendente*; la parte corrispondente invece al tempo di caduta è detta *fronte discendente* dell'impulso.

EFFETTO delle ARMONICHE sui TEMPI di SALITA e di CADUTA

Nella composizione di un'onda quadra, più vengono aggiunte le armoniche di ordine superiore, più diven-

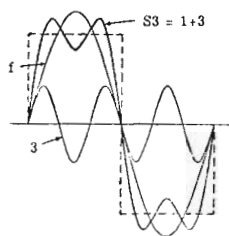



Fig. 12-A - Analisi della composizione di un'onda quadra. Sovrapposizione della terza armonica alla fondamentale.

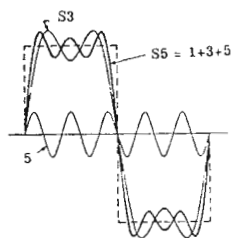



Fig. 12-B - Aggiunta della quinta armonica alla forma d'onda di figura 12-A. La risultante si approssima alla forma quadra.

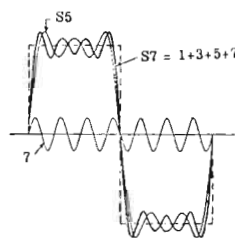



Fig. 12-C - Con l'aggiunta della settima armonica, la curva risultante si è avvicinata ancor più alla forma quadra.

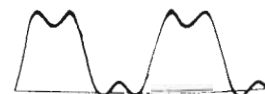



Fig. 13-A - Variazione di forma di un'onda quadra dovuta ad attenuazione delle frequenze più elevate.

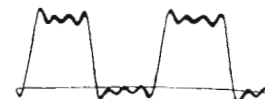



Fig. 13-B - Estendendo la banda passante, la forma di onda all'uscita migliora.

gono brevi i tempi di salita e di caduta. Questo fenomeno si può chiaramente rilevare dalle curve rappresentate alle figure 12-A, B e C. Ad esempio, in C, la curva *S*7 ha un tempo di salita più breve della curva *S*5. In B si può osservare che la curva *S*5 ha un tempo di salita più breve della *S*3. Aggiungendo altre armoniche di ordine superiore alla curva *S*7, si potrebbero ottenere altre curve i cui tempi di salita e di caduta sarebbero ancora più brevi. Per questa ragione la forma dell'impulso durante i tempi di salita e di caduta dipende principalmente dal limite superiore della banda passante del circuito attraverso cui l'impulso viene fatto passare. Se il circuito ha un responso scarso alle frequenze più elevate, le armoniche di ordine più alto non vengono riprodotte, e quindi i tempi di salita e di caduta risultano assai prolungati. Questo fenomeno si può osservare alla figura 14-**C**.

Nella figura 14-A è rappresentato un impulso rettangolare con tempi di salita e di caduta finiti. I circuiti reali modificano la forma di questo impulso e, quando hanno una buona risposta alle frequenze più alte, gli angoli dell'impulso vengono arrotondati solo leggermente (figura 14-**B**); i tempi di salita e di caduta non sono, in questo caso, fortemente modificati. Quando il circuito ha invece un cattivo responso alle frequenze elevate, come in C, si ha un ulteriore arrotondamento degli angoli, ed i tempi di salita e di caduta aumentano.

La regola seguente serve a determinare quanto deve essere alto il limite superiore della banda passante per riprodurre soddisfacentemente un impulso il cui tempo di salita sia t_r:

$$fH = \frac{1}{2t_r} \text{ Hz}$$

dove t_r è espresso in secondi. La frequenza fH viene chiamata anche « responso alle frequenze alte » o « limite superiore di frequenza » od infine, « limite superiore del circuito ». Questa formula può altresì essere applicata al fronte discendente dell'impulso, avente un tempo di caduta pari a t_f.

Supponiamo che, ad esempio, si debba riprodurre un impulso avente un tempo di salita di 0,5 microsecondi, come spesso capita nelle apparecchiature radar. Il responso del circuito alle frequenze alte deve, in questo caso, estendersi fino a:

$$fH = \frac{1}{2t_r} = \frac{1}{2\,(0{,}5 \times 10^{-6})} = 10^6 \text{ Hz}$$

ossia $fH = 1 \times 10^6$ Hz $=$ 1 MHz

Il limite superiore di frequenza del circuito deve quindi essere di 1 MHz per riprodurre correttamente il fronte ascendente di un impulso avente un tempo di salita pari a 0,5 microsecondi.

EFFETTO delle ARMONICHE sul TEMPO di DURATA

Il tempo di durata di un impulso, t_d, dipende dal responso del circuito alle frequenze basse. Alla **figura 15** è rappresentata un'onda quadra passata attraverso un circuito avente un responso insufficiente alle frequenze basse. Si noti che la curva non è piana per il tempo di durata dell'onda. Per ottenere una buona riproduzione della forma d'onda è quindi essenziale una buona risposta tanto alle frequenze basse quanto, come abbiamo visto prima, alle frequenze alte.

Il limite inferiore di frequenza che il circuito deve lasciar passare per riprodurre un impulso può essere calcolato mediante la formula:

$$f_L = \frac{1}{T_f} \text{ Hz}$$

ove f_L è espresso in Hz e T_f è il periodo fondamentale, ossia la durata di un intero impulso espressa in secondi. La stessa formula, tenendo conto che il reciproco del periodo fondamentale è la frequenza fondamentale, si può esprimere:

$$f_L = f_1$$

dove f_1 è appunto la frequenza fondamentale. Quando il limite di frequenza bassa di un circuito eguaglia la frequenza dell'impulso, si ha una riproduzione soddisfacente; così un impulso la cui frequenza fondamentale sia di 1.000 Hz, richiede, per non venire distorto, un limite inferiore di banda passante di 1.000 Hz.

BANDA PASSANTE per SEGNALI a DENTE di SEGA

Le regole esposte nel paragrafo precedente a proposito degli impulsi quadrati o rettangolari, possono venire estese anche al caso di altri tipi di onde non sinu-

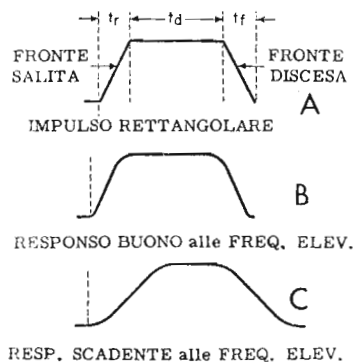



Fig. 14 - Composizione di un'onda quadra (A), ed effetto del responso alla frequenza (B e C) sulla forma.

Fig. 15 - Forma d'onda di un segnale ad onda quadra, alterata in seguito al passaggio in un circuito con responso scarso alle frequenze basse.

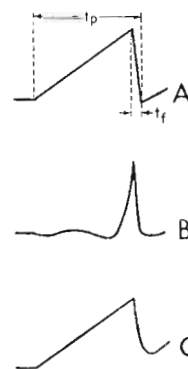



Fig. 16 - Influenza del responso alla frequenza su un segnale a dente di sega (A). In B, responso scadente alle frequenze basse, in C responso scadente alle frequenze alte.

soidali. Il concetto fondamentale è questo: il responso alle frequenze elevate ha effetto su quella parte della forma d'onda che varia (in ampiezza) più rapidamente, ossia che tende ad assumere un andamento verticale; il responso alle frequenze basse ha invece effetto su quella parte della forma d'onda che ha un andamento pressochè orizzontale (ossia quando l'ampiezza non varia, o varia con una certa lentezza in funzione del tempo).

Questi principi possono essere applicati per determinare l'effetto dei limiti di responso alle frequenze alte e basse su di una forma d'onda a dente di sega. Il fenomeno è rappresentato alla **figura 16**. Il valore istantaneo di tensione per questa forma d'onda cresce gradualmente fino a che sia raggiunta la massima ampiezza, e successivamente cade bruscamente a zero. In conseguenza di quanto detto in precedenza, il limite di responso alle frequenze basse influenza il tratto ascendendente dell'onda, mentre il limite alle frequenze alte ha effetto sul tratto discendente. Nella figura 16-**B**, è rappresentata una tale onda dopo il passaggio in un circuito avente un responso scarso alle frequenze basse. Questa forma d'onda si ottiene sottraendo a quella ideale la prima, la seconda e la terza armonica. Quando invece si ha un responso scarso alle frequenze elevate, si ottiene l'onda rappresentata alla figura 16-**C**. Come si può osservare, la mancanza delle armoniche superiori provoca una deformazione del tratto discendente.

L'ampiezza di banda di un circuito usato per il trasferimento di una tensione a dente di sega deve essere tale da consentire, all'estremo basso, il passaggio della frequenza fondamentale, ed all'estremo alto il passaggio di una frequenza pari a $1/2t_f$, dove t_f è anche qui il tempo di caduta. Questi limiti sono gli stessi di quelli riferiti per il calcolo del passaggio degli impulsi.

Ad esempio, consideriamo la banda richiesta per lasciar passare una tensione a dente di sega avente un periodo principale T_p = 1.000 microsecondi, ed un tempo di caduta t_f = 5 microsecondi. Il limite richiesto alle frequenze più basse è:

$$f_L = \frac{1}{T_p} \quad \frac{1}{1.000 \times 10^{-6}} = 1.000 \text{ Hz}$$

mentre il responso alle frequenze più alte deve giungere a:

$$f_H = \frac{1}{2t_f} = \frac{1}{10 \times 10^{-6}} = 100 \text{ kHz}$$

L'ampiezza della banda passante deve allora essere pari a $f_H - f_L$, ossia a 99 kHz.

TRASFORMAZIONE delle FORME D'ONDA

Abbiamo visto testè come i circuiti che vengono usati per amplificare o trasferire segnali non sinusoidali, ed in particolare forme d'onda con andamento di tipo geometrico, debbano soddisfare alcuni particolari requisiti per quanto riguarda l'ampiezza della loro banda passante. I limiti di quest'ultima, tuttavia, possono essere, in alcuni casi, e cioè quando non ha importanza che il segnale di uscita sia eguale a quello d'entrata, assai più ristretti. Vi sono poi casi in cui gli impulsi vengono fatti passare appositamente attraverso circuiti che li modificano. Infatti, capita spesso di dover trasformare segnali periodici che presentano un dato andamento, in altri ad andamento diverso.

Finora, abbiamo considerato solo i responsi dei circuiti *RLC* nel caso in cui veniva ad essi applicata una tensione positiva o negativa costante, mantenuta per un periodo di tempo abbastanza elevato, se paragonato alla costante di tempo del circuito.

Se invece si applicano segnali il cui periodo caratteristico è più breve della costante di tempo del circuito, si possono ottenere notevoli trasformazioni tra il segnale d'entrata ed il segnale di uscita; viene modificata sia la forma che l'ampiezza.

Supponiamo di applicare un segnale ad onda quadra ad un circuito la cui costante di tempo sia pari al doppio del periodo del segnale. In tal caso, quando ha luogo la semialternanza positiva, la tensione in uscita cresce gradatamente dal valore minimo ad un certo valore che, poichè la costante di tempo è elevata, non raggiunge mai il valore massimo. Infatti, mentre la tensione sta ancora crescendo, sopravviene la semialternanza negativa, la quale fa in modo che la tensione del segnale in uscita cominci a scendere. Anche a questo punto, la tensione non farà in tempo a raggiungere il suo massimo in senso negativo, per la stessa ragione spiegata in precedenza. Regolando la costante di tempo del circuito, si può pervenire ad un controllo sull'ampiezza del segnale in uscita.

CIRCUITI OSCILLATORI per ONDE non SINUSOIDALI

Nella lezione precedente ci siamo occupati dello studio delle forme d'onda non sinusoidali, senza peraltro interessarci delle varie tecniche secondo le quali queste onde possono venire prodotte. Dal momento che la tecnica associata a questo tipo di onde e di impulsi ha avuto — in questi ultimi anni — un enorme sviluppo, si possono ormai contare numerosi tipi diversi di generatori di segnali non sinusoidali.

Passeremo in rassegna i principali tra questi, con particolare riguardo ai multivibratori, agli oscillatori autobloccanti, ed ai generatori di segnali a dente di sega. Ci occuperemo altresì, brevemente, di circuiti di tipo speciale quali i differenziatori, gli integratori, i « Phantastron » ed altri.

I MULTIVIBRATORI

I circuiti multivibratori vengono impiegati principalmente quali generatori di forme d'onda quadre o rettangolari. Essi si possono dividere in tre principali categorie:

1) Multivibratori *bistabili* (detti anche circuiti «flip-flop »).

2) Multivibratori *monostabili*.

3) Multivibratori *astabili* (o liberamente oscillanti).

Ognuna di queste categorie si può dividere — a sua volta — in vari sottotipi, che di volta in volta esamineremo.

I multivibratori funzionano secondo i principi del **rilassamento,** che consiste nell'immagazzinare energia in un condensatore e quindi, quando si è raggiunto un certo livello di tensione, nell'effettuare la scarica rapida del condensatore. I multivibratori trovano anche applicazione in qualità di generatori di impulsi, circuiti per divisione di frequenze, interruttori elettronici, generatori di onde quadre e circuiti di ritardo.

Ricapitoliamo ora alcune proprietà caratteristiche dei circuiti a valvola, la cui conoscenza è essenziale per una buona comprensione del principio di funzionamento dei multivibratori.

Un aumento (in senso positivo) della tensione di griglia provoca un aumento nella corrente di placca che fluisce attraverso la valvola; viceversa, una diminuzione della tensione di griglia provoca una diminuzione nella corrente di placca. Inoltre, se si diminuisce tale tensione di griglia oltre un certo limite (soglia di interdizione) la valvola non conduce più.

Un aumento della corrente che fluisce attraverso la resistenza di carico (disposta in serie alla placca), provoca una diminuzione nella tensione anodica della valvola. Viceversa, una diminuzione di tale corrente provoca un aumento della tensione di placca.

La tensione ai capi di un condensatore non può variare istantaneamente. Un condensatore richiede infatti un certo periodo di tempo per caricarsi o scaricarsi. Questo tempo dipende dalla costante *RC* dei circuiti.

I circuiti multivibratori, di qualunque tipo essi siano, sono sempre costituiti da due triodi, uno dei quali conduce una certa corrente mentre l'altro è bloccato. Attraverso una opportuna inversione degli stadi di funzionamento ora citati nei due triodi, si perviene ad ottenere, ai capi della resistenza di carico di uno di questi, una forma d'onda rettangolare.

Consideriamo infatti la tensione presente ai capi della resistenza di carico di un triodo. Quando il triodo non conduce, la corrente che percorre tale resistenza è zero, e quindi la differenza di potenziale ai suoi capi è anch'essa nulla. Se invece il triodo conduce una certa corrente I, e se indichiamo con R la resistenza di carico, ai capi di quest'ultima si otterrà una tensione $V = IR$. Supponiamo ora di riuscire, con un metodo qualunque, ad alternare con regolarità le condizioni di funzionamento e di blocco del triodo. In tal caso il segnale presente ai capi della resistenza di carico assumerà l'andamento indicato alla **figura 1**. Si tratta quindi, come si può osservare, di una forma d'onda rettangolare.

Vediamo ora come si possa pervenire ai successivi blocchi e sblocchi della valvola. E' appunto in considerazione di questa circostanza che si è giunti ad una classificazione dei diversi tipi di multivibratori.

MULTIVIBRATORE BISTABILE

Un classico tipo di multivibratore bistabile è rappresentato alla **figura 2**. Scegliendo i valori delle tensioni e delle resistenze in modo opportuno, è chiaro che le due condizioni in cui il triodo $V1$ è bloccato e $V2$ conduce oppure $V2$ conduce e $V1$ è bloccato sono entrambe stabili. Prendiamo infatti in considerazione la prima di tali condizioni: poichè $V2$ conduce, si ha una caduta di tensione ai capi della resistenza di carico di tale val-

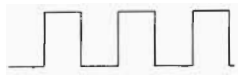



Fig. 1 - Forma d'onda rettangolare, che si manifesta ai capi della resistenza di carico di un triodo, interrompendo periodicamente e bruscamente la corrente anodica della valvola.

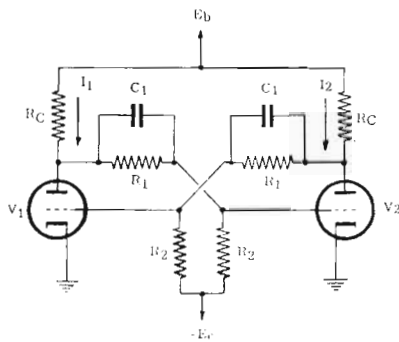



Fig. 2 - Esempio di circuito di un multivibratore del tipo detto « bistabile ».

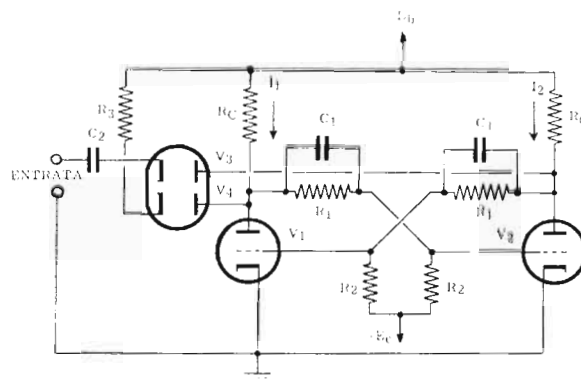



Fig. 3 - Modifica del multivibratore di figura 2. Con la aggiunta del doppio diodo si ottiene un'onda rettangolare.

vola; di conseguenza, la tensione anodica si abbassa e, poichè la griglia dell'altra valvola è collegata all'anodo della prima, anche la tensione su tale griglia si abbassa. Ne consegue che, se il valore delle resistenze è scelto in modo opportuno, si può fare in modo che tale tensione di griglia sia al disotto della soglia di interdizione. Come si vede, la condizione di funzionamento ora descritta è stabile, ossia si mantiene indefinitamente finchè non interviene una modifica dall'esterno. L'altra condizione, simmetrica a quella ora descritta, è altrettanto stabile.

Vogliamo ora dimostrare che le due condizioni opposte, ossia quelle in cui entrambe le valvole conducono una certa corrente, sono tutte instabili; ciò significa che, se il circuito — per una ragione qualsiasi — si trova in una di tali condizioni, in breve tempo si riporta da solo in una delle due condizioni stabili.

Supponiamo che la corrente che percorre il triodo *V1* sia *I1*, e quella che percorre *V2* sia *I2*. Prendiamo in considerazione il caso in cui *I1* sia minore di *I2*. La tensione anodica di *V1* sarà inferiore a quella di *V2*, determinando anche una maggiore tensione di griglia su *V2*. Questa tensione di griglia più elevata determina, a sua volta, un ulteriore aumento della corrente *I2*, e quindi un abbassamento di tensione sulla placca e sulla griglia di *V1*. Quest'ultima circostanza genera, a sua volta, un'ulteriore diminuzione della corrente *I1*. Il ciclo ora descritto si abbassa al di sotto della soglia di interdizione; si raggiunge quindi una delle due condizioni stabili. Il caso in cui si abbia inizialmente una corrente *I1* maggiore della corrente *I2*, si svolge in modo del tutto simmetrico, e porta, in breve tempo, all'altra condizione stabile.

Tale circuito, che si chiama bistabile appunto perchè comporta due condizioni stabili, non può — da solo — comportarsi come un generatore di forme d'onda. Ciò è chiaro se si pensa che esso tende ad assumere una delle due condizioni stabili ed a permanere in essa indefinitamente. Per poter quindi fare in modo di ottenere il segnale ad onda rettangolare richiesto, occorre introdurre un dispositivo esterno che consenta di alternare periodicamente le due condizioni stabili di funzionamento. Tale dispositivo si può ottenere inserendo due diodi, nel modo rappresentato alla **figura 3**.

Per studiare il funzionamento di questo dispositivo esterno, supponiamo che, inizialmente, la valvola *V1* conduca mentre *V2* è bloccata. Applichiamo all'entrata degli impulsi negativi quali quelli rappresentati alla **figura 4**. Tali impulsi, applicati ai catodi dei diodi *V3* e *V4*, risultano accoppiati alla placca di *V2*, mentre non appaiono sulla placca di *V1* perchè, dato che tale valvola conduce, la sua tensione anodica è bassa. Ma, l'anodo di *V1* è direttamente collegato a quello del diodo *V3*, che in tal caso assume una tensione di placca troppo bassa per condurre l'impulso applicato al suo catodo. L'impulso negativo riesce invece a passare attraverso *V4*, determinando un abbassamento della tensione sulla griglia di *V1*. Tale abbassamento determina un aumento della tensione sulla griglia di *V2* (secondo il fenomeno già descritto in precedenza) riportando tale valvola in condizione di funzionamento. Si determina quindi una corrente *I2* che abbassa ulteriormente la tensione di griglia di *V1*. Quest'ultima, dopo un certo numero di cicli analoghi a quello ora descritto, si abbassa al di sotto della soglia di interdizione, e quindi *V1* si blocca. Ci siamo così trasferiti nell'altra condizione di funzionamento stabile. Il passaggio da questa alla prima avviene, secondo un procedimento del tutto analogo, al momento in cui perviene all'entrata un ulteriore impulso negativo. Nel modo descritto, si riesce a trasformare la tensione impulsiva di comando in un segnale ad onde rettangolari.

Un altro tipo di multivibratore bistabile è quello cosiddetto « a catodi collegati ». Un circuito di tal genere è rappresentato alla **figura 5**. Come si può osservare, uno dei collegamenti placca-griglia, è stato sostituito da un accoppiamento tra i catodi. Supponiamo che allo inizio la tensione sia nulla. Le resistenze *R1* ed *R2* sono state calcolate in modo che la tensione presente tra griglia e catodo di *V2* renda questa valvola conduttrice. La corrente che scorre attraverso R_k genera una tensione E_k, positiva, che, rendendo la griglia negativa, è capace di trattenere *V1* al di sotto della soglia di interdizione. In generale, il valore di E_k è dell'ordine di 1/3 della tensione di placca. A questo punto, supponiamo di aumentare *E*: non si ha alcuna variazione nella condizione di funzionamento del circuito, fino a che *V1* comincia a condurre. Al momento dello sblocco, la corrente *I1* provoca una caduta di potenziale sull'anodo della prima valvola, e quindi anche sulla griglia della seconda. Questo segnale viene ritrasferito sul primo

Fig. 4 - Impulsi negativi applicati all'ingresso del multivibratore. Le caratteristiche di funzionamento sono tali che detti impulsi vengono trasformati in onde rettangolari.

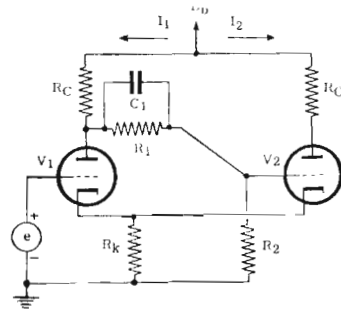



Fig. 5 - Circuito multivibratore bistabile a catodi collegati.

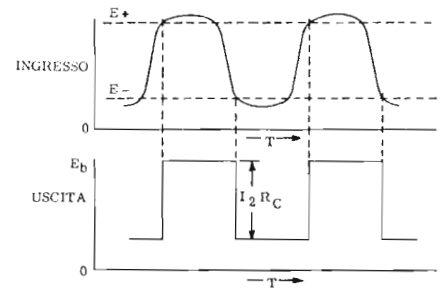



Fig. 6 - Analisi grafica del processo di trasformazione di onde sinusoidali in onde ad andamento rettangolare.

triodo mediante il circuito di catodo, poichè esso provoca una diminuzione della corrente *I2*, con conseguente caduta della tensione E_k. Si avrà quindi, un ulteriore aumento di *V1* ed una diminuzione della tensione anodica applicata alla prima valvola, in modo tale da chiudere il ciclo che procede fino a che la seconda valvola si blocca.

Mediante questo circuito si riesce a trasformare segnali d'entrata pressochè sinusoidali in segnali di forma rettangolare. Il processo è illustrato alla **figura 6**.

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE

Questo tipo di multivibratore è caratterizzato dal fatto che, delle due solite condizioni di funzionamento, una è stabile mentre l'altra è instabile. Esso rimarrebbe nel suo stato stabile per un periodo di tempo indefinito, se non intervenisse un impulso di comando esterno atto a trasferirlo nella condizione instabile. Il passaggio da questa alla prima avviene invece spontaneamente dopo un certo periodo di tempo, determinato dai valori dei componenti del circuito, senza che sia necessario un impulso esterno. Un esempio tipico di multivibratore monostabile è rappresentato dalla **figura 7**. E' interessante notare che l'accoppiamento tra la placca di *V1* e la griglia di *V2* viene ottenuto mediante un semplice condensatore, ossia, è del tipo solitamente impiegato per il trasferimento di tensioni alternate. Lo accoppiamento nell'altro senso è invece dello stesso tipo di quello impiegato nel multivibratore bistabile di cui alla figura 2. I valori della tensione E_c e delle resistenze, sono tali da bloccare *V1* e da rendere *V2* conduttrice. Il sistema di comando può venire effettuato con gli stessi metodi impiegati nel caso del circuito bistabile (detto anche binario); l'unica differenza deriva dal fatto che in questo caso è necessario un solo diodo, *V3*. Applicando al catodo del diodo un impulso negativo, esso diviene conduttore, provocando un aumento della corrente *I1*. Si ha allora un abbassamento della tensione di placca di *V1* che, attraverso il condensatore *C2*, si trasferisce sulla griglia del secondo triodo. In conseguenza di ciò, si inizia il solito ciclo che porta alla condizione di funzionamento instabile, ossia *V2* bloccata e *V1* conduttrice.

Immediatamente dopo il passaggio in questo stato, la tensione di griglia della seconda valvola permane — per un certo periodo — assai negativa; ciò per il fatto che *C2* impiega un certo tempo a caricarsi attraverso la resistenza *R3*, alla quale viene dato un valore notevolmente elevato. Dopo un certo tempo però, ossia quando il condensatore è sufficientemente carico, la tensione di griglia di *V2* sale ad un punto tale da sbloccare la valvola. Quando questa comincia a condurre, si inizia un ciclo in senso opposto ed il circuito ritorna — in un tempo brevissimo — nella sua condizione stabile di funzionamento. Anche in questo caso quindi si ottiene la trasformazione di impulsi negativi, del tipo di quelli rappresentati alla figura 4, in segnali aventi forma rettangolare. Tali segnali, naturalmente, vengono prelevati ai capi della resistenza di carico di *V2*.

Il circuito monostabile che abbiamo ora descritto è del tipo con accoppiamento griglia-placca. Si può tuttavia introdurre, come nel caso dei multivibratori bistabili, un accoppiamento di catodo; in questo modo si ottiene un funzionamento del tutto analogo al precedente.

MULTIVIBRATORE ASTABILE

I multivibratori astabili comportano una differenza essenziale rispetto alle due categorie precedentemente descritte, per il fatto che le due solite condizioni di funzionamento sono entrambe instabili. Si rende quindi possibile il funzionamento di tale circuito quale generatore oscillante, ossia oscillante senza bisogno di segnali di comando provenienti dall'esterno.

Il tipo più classico di multivibratore astabile è rappresentato alla **figura 8**. La placca di ognuno dei triodi è accoppiata, mediante un condensatore, alla griglia dell'altro. In tal modo, se teniamo conto di quanto detto nel caso del multivibratore monostabile a proposito del suo pasaggio dalla condizione instabile a quella stabile, si comprende che ognuno dei due triodi rimane bloccato solamente durante il tempo richiesto per la carica del suo condensatore di griglia.

I multivibratori astabili non hanno tuttavia una buona stabilità in frequenza, poichè una pur lieve variazione nelle caratteristiche dei triodi, dei condensatori o delle resistenze, può modificare la frequenza di oscillazione. Per ottenere una frequenza stabile, è necessario sincronizzare dall'esterno la frequenza del segnale prodotto. Questo segnale *di sincronismo* non è indi-

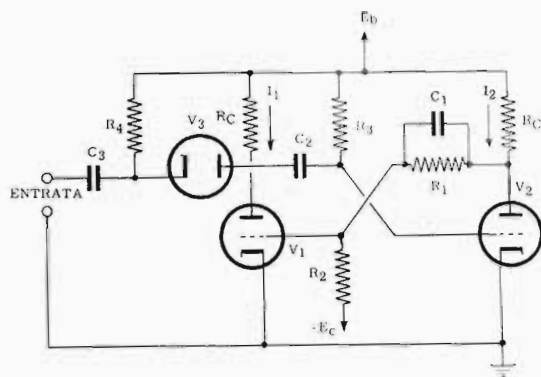



Fig. 7 - Circuito tipico di un multivibratore monostabile, con ingresso per impulsi esterni.

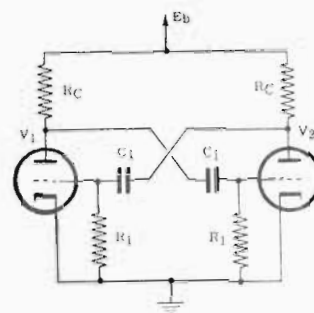



Fig. 8 - Multivibratore astabile. Questo circuito può autooscillare senza impulsi esterni.

spensabile al funzionamento del circuito, poichè il multivibratore astabile non ha bisogno, per il suo funzionamento, di impulsi di comando esterni. Esso è invece necessario, come abbiamo detto, per stabilizzare la frequenza.

Sincronizzazione mediante segnale sinusoidale

Supponiamo di applicare un segnale sinusoidale alla griglia della valvola *V1*. La tensione presente in origine su tale valvola è illustrata nel primo ciclo della **figura 9-A**. All'istante $t = 0$, la tensione di griglia è appena stata portata al di sotto della soglia di blocco. Se manca il segnale di sincronismo, il condensatore richiede, per scaricarsi sufficientemente fino alla sblocco della valvola, 5 microsecondi. Quando invece si applica alla griglia un segnale sinusoidale, il punto di sblocco viene raggiunto dopo soli 4,5 microsecondi. Ciò perchè le alternanze positive del segnale di sincronismo, aggiungendosi, come si vede nel secondo ciclo del segnale rappresentato alla figura 6-A, fanno sì che il punto di sblocco venga raggiunto in anticipo.

In questo modo, poichè il segnale di sincronismo ha una frequenza perfettamente costante, il multivibratore risulta anch'esso sincronizzato. Nel caso illustrato in A, la frequenza del segnale di sincronismo è pari a 6 volte la frequenza del multivibratore. Viceversa, la frequenza del multivibratore è un sesto di quella del segnale di sincronismo. Ad esempio, supponiamo che la frequenza propria di un multivibratore astabile sia di 12.500 Hz circa, senza però essere molto stabile: applichiamo a questo multivibratore un segnale di sincronismo la cui frequenza sia di 76.800 Hz. In questo modo la frequenza del circuito risulterà stabilizzata sul valore pari ad un sesto della frequenza di sincronismo ossia 12.800 Hz.

Il rapporto tra frequenza di sincronismo e frequenza d'uscita può venire cambiato variando opportunamente l'ampiezza del segnale di sincronismo. Ad esempio, se si accresce quest'ultima, il punto di sblocco viene raggiunto in un tempo inferiore (figura 9-**B**). In questo modo quindi, anche la frequenza del multivibratore aumenta. Infatti, come si può notare in figura, il punto di sblocco viene raggiunto in soli 2 cicli, e quindi — in questo caso — la frequenza d'uscita è pari ad un quarto di quella di sincronismo. Se quest'ultima è, riprendendo l'esempio precedente, di 76.800 Hz, quella d'uscita sarà di 19.200 Hz.

Sincronizzazione mediante impulsi

Un metodo più comune ed efficace per ottenere la stabilizzazione della frequenza d'uscita di un multivibratore è quello della sincronizzazione mediante impulsi. Questo metodo è più efficace per il fatto che, sovrapponendo un impulso alla normale tensione di griglia, si ottiene — come si può notare alla **figura 10**, una variazione di tensione più ben definita. Nella sincronizzazione mediante onde sinusoidali, la variazione di tensione è graduale; di conseguenza, la soglia di sblocco può venire raggiunta, nei successivi cicli, in istanti leggermente differenti. Nella sincronizzazione mediante impulsi, invece, l'istante in cui la tensione subisce lo sbalzo in senso positivo è molto ben determinata, e quindi la frequenza d'uscita risulta maggiormente stabilizzata.

Alla figura 10 è rappresentata la sincronizzazione del segnale d'uscita di un multivibratore, ottenuta a mezzo di impulsi positivi applicati alla griglia dalla valvola *V1*. Solamente gli impulsi che provocano il passaggio della valvola dalla condizione bloccata a quella di funzionamento hanno effetto sulla frequenza e sulla durata del segnale d'uscita. Per esempio, quando si applica al circuito l'impulso *A*, esso non accresce la tensione di griglia fino alla soglia di sblocco, e quindi la valvola rimane nello stato di non conduzione. Gli impulsi *B* e *C* capitano durante il periodo di conduzione, e quindi non hanno altro effetto che l'accrescimento momentaneo delle correnti di griglia e di placca.

L'impulso *D*, invece, determina il passaggio dallo stato di blocco allo stato di conduzione più presto che non se l'impulso fosse assente. Infatti, la tensione di griglia supera il punto di sblocco all'istante $t = 9{,}5$ invece che all'istante $t = 10$. Gli impulsi *E*, *F*, e tutti i sucessivi, determinano poi il proseguimento del fenomeno, e quindi provvedono alla sincronizzazione della frequenza di uscita.

Si può ottenere la sincronizzazione anche mediante l'uso di impulsi di sincronismo negativi. Il processo è illustrato alla **figura 11**. In questo caso gli impulsi vengono applicati alla griglia della valvola che conduce, la quale provvede ad amplificarli invertendoli di fase, ossia rendendoli positivi. Questi impulsi positivi ven-

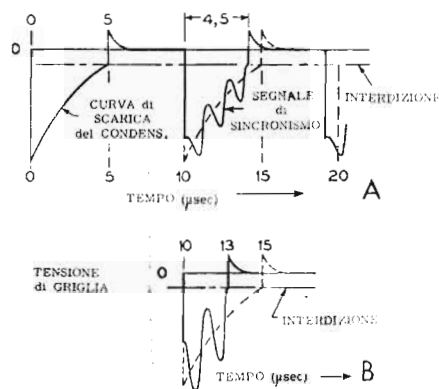



Fig. 9 - Analisi del comando di un multivibratore astabile con segnali sinusoidali.

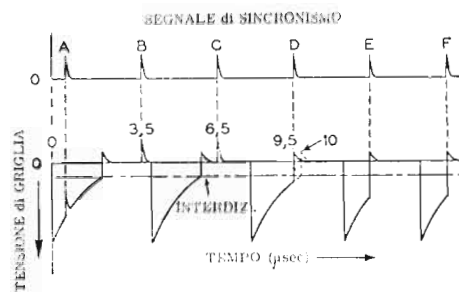



Fig. 10 - Analisi del processo di sincronizzazione di un multivibratore con impulsi positivi.

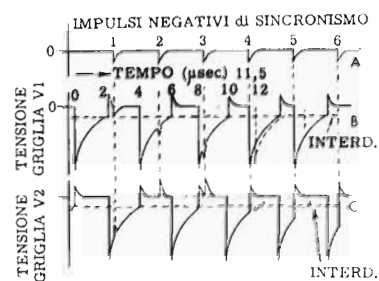



Fig. 11 - Sincronizzazione mediante impulsi negativi.

gono trasferiti mediante il condensatore di accoppiamento, sulla griglia della valvola bloccata, e provvedono — con un procedimento eguale a quello illustrato in precedenza — a sbloccarla ad intervalli regolari. Si perviene quindi, anche con questo metodo, ad una sincronizzazione.

OSCILLATORI AUTOBLOCCANTI

Si tratta di particolari tipi di oscillatori che vengono usati per determinare degli impulsi. Essi funzionano con un trasformatore che determina una reazione molto spinta tra il circuito di placca ed il circuito di griglia. Per il loro funzionamento non è richiesta la presenza di alcun segnale di comando all'entrata, in quanto essi sono dei veri e propri generatori.

Un esempio tipico di oscillatore autobloccante è rappresentato alla **figura 12**. Essenzialmente, il circuito è costituito da una valvola, generalmente un triodo, e da un trasformatore che determina il citato processo di reazione positiva, tra i circuiti di placca e di griglia.

Poichè la griglia è inizialmente al potenziale del catodo (non si ha perciò alcuna caduta di potenziale attraverso *R*1), la corrente di placca fluisce nella direzione indicata. Questa corrente, che va aumentando da zero fino ad un valore massimo, determina una caduta di potenziale sempre crescente nel primario del trasformatore (P), la quale — a sua volta — induce una tensione nel secondario. Di conseguenza, si ha una corrente attraverso il secondario che inizia a caricare il condensatore *C*1 attraverso la resistenza *R*1. La caduta di pontenizale ai capi di *R*1 determina un aumento della tensione di griglia. Ciò provoca un aumento proporzionale della corrente di placca, ed anche un certo flusso di corrente di griglia. Non appena la corrente di griglia si manifesta, il processo di carica del condensatore avviene attraverso la valvola e non più attraverso la resistenza *R*1. Ciò perchè quest'ultima è alquanto elevata rispetto alla resistenza interna della valvola presente tra catodo e griglia. In questo modo, il tempo di carica viene ad abbreviarsi, e questo fenomeno avviene fino a che un ulteriore incremento della tensione di griglia non provoca più un aumento della corrente di placca. Tale condizione viene detta *di saturazione*.

Il valore momentaneo stazionario della corrente di placca, che ha luogo quando è raggiunta la saturazione, produce una riduzione nel campo del trasformatore. Per questa ragione si genera nel secondario una tensione relativamente alta, di polarità invertita (negativa rispetto a massa), che causa una parziale scarica molto rapida del condensatore *C*1. La tensione che, in conseguenza di ciò, si sviluppa ai capi di *R*1, porta la griglia della valvola al di sotto della soglia di interdizione. In questo modo la valvola si blocca.

Il condensatore *C*1 continua a scaricarsi attraverso *R*1, ad una velocità determinata dalla costante di tempo *R*1 - *C*1. La tensione di griglia va quindi aumentando, ossia diviene meno negativa, finchè raggiunge la soglia di sblocco. Da qui, si ha l'inizio di un nuovo ciclo.

L'oscillatore autobloccante può, come il multivibratore astabile, venire sincronizzato mediante impulsi di sincronismo di frequenza appropriata. Se tali impulsi sono applicati al circuito di griglia poco prima che quest'ultimo raggiunga la tensione di sblocco, e sono di ampiezza sufficiente per portarla al di sopra di tale limite, la valvola inizia il processo di conduzione prima di quanto avverrebbe se non vi fosero gli impulsi. Il procedimento è del tutto analogo a quanto avviene nella sincronizzazione dei multivibratori astabili.

GENERATORI di DENTI di SEGA

Un generatore di segnali a dente di sega è necessario allorchè occorre disporre di una tensione che aumenti linearmente col tempo, per poi tornare bruscamente a zero, o comunque al suo valore più basso. Come vedremo in una lezione molto prossima, i segnali a dente di sega vengono usati, tra l'altro, negli oscillografi a raggi catodici.

I generatori in questione si suddividono in due categorie, a seconda che siano liberamente oscillanti oppure comandati.

Un generatore di segnali a dente di sega liberamente oscillante produce dei segnali la cui frequenza è determinata dai valori dei vari elementi del circuito. Come al solito, anche in questo caso, è possibile introdurre una sincronizzazione esterna, avente come unico scopo la stabilizzazione della frequenza del segnale di uscita. I segnali di sincronismo possono essere sia alla stessa frequenza del segnale d'uscita, sia ad una fre-

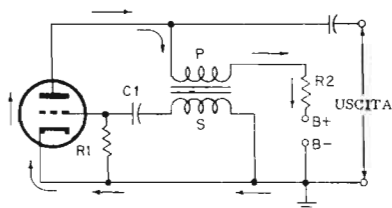



Fig. 12 - Circuito tipico di un oscillatore autobloccante. Può oscillare da solo, ossia senza l'ausilio di impulsi di comando esterni. Può essere sincronizzato, come il multivibratore astabile, mediante impulsi esterni.

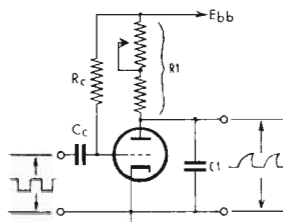



Fig. 13 - Circuito tipico di un generatore di segnali a dente di sega. Come si nota, per funzionare deve essere eccitato mediante segnali rettangolari applicati all'ingresso.

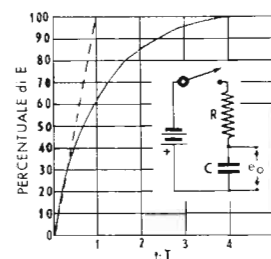



Fig. 14 - Analisi grafica del processo di carica di un condensatore in un circuito del tipo « RC » in serie.

quenza multipla.

I generatori comandati producono un'unica forma d'onda a dente di sega, ogni volta che un segnale pilota appropriato, in generale un impulso od un'onda quadra, viene applicato al loro ingresso.

Iniziamo lo studio di questi ultimi poichè i precedenti che utilizzano valvole a gas. sono — attualmente — scarsamente diffusi. Un classico tipo di generatore di segnali a dente di sega comandato è rappresentato alla **figura 13**. Esso richiede — per il suo funzionamento — la presenza al suo ingresso di un segnale ad onda rettangolare. per ottenere il segnale desiderato, si sfrutta il fenomeno di carica di un circuito *RC* in serie, rappresentato alla **figura 14**.

Come si vède, la prima parte della curva è relativamente lineare; essa può quindi venire adeguatamente sfruttata come tratto ascendente di un segnale a dente di sega. Riprendendo in considerazione il circuito di figura 13, possiamo osservare che, quando il segnale presente all'ingresso passa dal valore massimo al valore minimo, la tensione di griglia discende al di sotto della soglia di interdizione. In tal modo, la corrente attraverso la resistenza *R*1 scende a zero, e quindi la tensione ai capi di *C*1 sale bruscamente. In conseguenza di ciò, la tensione ai capi di *C*1 comincia ad aumentare secondo la curva di figura 14, il cui primo tratto è abbastanza lineare. La durata di questa fase dipende dalla frequenza del segnale ad onda quadra presente all'ingresso. Infatti, non appena si ha, all'ingresso, un brusco aumento di tensione dovuto al sopraggiungere della semialternanza positiva dell'onda rettangolare, la griglia della valvola sale oltre il punto di sblocco, e quindi la differenza di potenziale ai capi di *C*1 discende bruscamente al suo valore minimo. Essa permane a questo valore fino all'inizio di un nuovo ciclo negativo nel segnale di comando. Si ottiene, in tal modo, un segnale a dente di sega la cui frequenza è perfettamente sincronizzata con quella del segnale di ingresso.

Alla **figura 15** è rappresentato il circuito di un generatore di tensioni a dente di sega negativi, impiegante un pentodo come sorgente di corrente di carica costante. *V*1 e *V*2 sono, in condizioni normali, conduttrici. L'inizio del dente di sega negativo si ottiene quando viene applicato alla griglia di *V*1 un segnale negativo, che interdice la corrente attraverso la valvola. Naturalmente il valore della tensione negativa che si applica alla griglia di *V*1 deve essere eguale o maggiore della somma del potenziale di interdizione e della massima ampiezza del segnale desiderato in uscita.

Appena *V*1 si sblocca, *V*2 inizia a scaricare il condensatore *C*1. Man mano che *C*1 si scarica, la tensione sulla placca di *V*2 diminuisce. La corrente di placca, tuttavia, rimane essenzialmente costante poichè la resistenza dinamica di placca di *V*2 è relativamente alta, trattandosi di un pentodo. Al sopraggiungere della parte positiva dell'onda rettangolare presente all'ingresso, il triodo *V*1 si sblocca, e provoca un immedíato aumento della tensione di placca di *V*2. in tal modo si ottiene il completamento del dente di sega negativo presente all'uscita. Anche in questo caso, variando il valore della resistenza *R*1, si perviene ad ottenere diverse inclinazioni del tratto discendente del segnale presente all'uscita.

Un altro tipo di circuito assai spesso usato per la produzione di tensioni a dente di sega è il cosiddetto generatore **Miller**. Esistono generatori Miller sia a triodo che a pentodo: ci occuperemo di questi ultimi, perchè di maggiore importanza pratica. Lo schema di un circuito Miller a pentodo è rappresentato alla **figura 16**. Gli impulsi di comando vengono inviati, questa volta, sulla griglia di soppressione. In condizioni normali, la tensione negativa della griglia di soppressione è tale che la corrente di placca è zero. Accade allora che il pentodo agisce come se fosse un triodo poichè la griglia schermo si comporta come una placca. Durante questo periodo, la tensione sulla griglia controllo è poco diversa da quella del catodo, a causa della notevole caduta di tensione ai capi della resistenza *R*, dovuta alla presenza di una corrente di griglia.

Se un impulso di tensione positiva viene applicato alla griglia di soppressione, il potenziale di quest'ultima sale oltre la soglia di interdizione, e — di conseguenza — si ha un brusco aumento della corrente di placca, che provoca una tensione ai capi della resistenza di carico del pentodo. La tensione sulla placca di questo scende infatti da E_{bb} ad $E_{bb} - \Delta E$. Successivamente, si ha un ulteriore aumento della corrente di placca, dovuto all'accoppiamento tra quest'ultimo elettrodo e la griglia controllo. Questa volta però l'aumento non è brusco, bensì lineare. La tensione di placca scenderà quindi linearmente al valore E_{bmin}. Quando il succes-

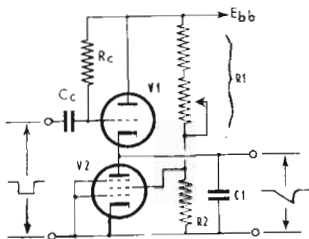



Fig. 15 - Circuito tipico per la produzione di segnali a dente di sega negativi. Anche questo circuito necessita di impulsi di comando rettangolari.

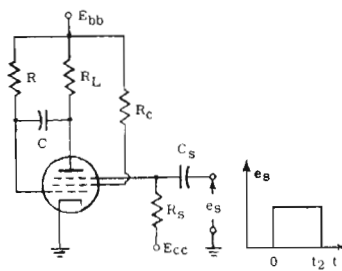



Fig. 16 - Esempio di circuito « Miller » a pentodo. A destra è visibile la forma degli impulsi di comando, applicati alla griglia di soppressione.

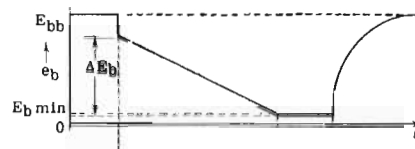



Fig. 17 - Rappresentazione grafica dell'andamento della tensione di placca del generatore « Miller » di figura 16. Il segnale assomiglia all'onda a dente di sega.

sivo impulso negativo perviene alla griglia di soppressione, la valvola si blocca, la corrente di placca scende bruscamente a zero, e l'unica corrente che percorre la resistenza R_L è quella di scarica del condensatore. In definitiva — riassumendo — la tensione sulla placca assume l'andamento della **figura 17**.

Come si vede, l'andamento presenta solo una certa somiglianza col classico tipo del dente di sega negativo.

Un circuito che, basandosi sul generatore « Miller », ottiene a questo riguardo risultati nettamente migliori, è il circuito detto **phantastron**. Uno schema tipico è rappresentato alla **figura 18**. In questo caso, il condensatore di reazione $C1$, è stato sostituito da un dispositivo più complesso, del quale fa parte anche un triodo, fungente da interruttore elettronico. In tal modo viene a mancare la « coda » al dente di sega, che si può notare nella forma d'onda di figura 17, poichè la scarica del condensatore non ha più influenza sulla tensione anodica del pentodo, effettuandosi la scarica attraverso il triodo. In questo circuito si può altresì notare la presenza dei diodi $D1$ e $D2$, la cui funzione è di limitare le tensioni positive rispetto a massa, rispettivamente della griglia e del triodo (e quindi della placca del pentodo) e della griglia di soppressione.

Un'altra caratteristica notevole del circuito « phantastron » qui descritto, è che una parte degli impulsi positivi viene applicata alla griglia schermo. In tal modo essi aiutano anche il brusco aumento della tensione che deve verificarsi sulla griglia schermo, in seguito alla diminuzione della corrente che percorre la sua resistenza di carico quando ha inizio la corrente anodica. Si ottengono sulla griglia schermo, dei segnali che si avvicinano notevolmente all'andamento di un'onda rettangolare. Si potrebbe quindi, trasferendo questi impulsi sulla griglia di soppresione, costruire un circuito « phantastron » liberamente oscillante, senza necessità di impulsi di comando esterni.

CIRCUITI per LA MODIFICA DI FORME D'ONDA

Nelle applicazioni pratiche, si rende qualche volta necessario — come si è accennato nella lezione precedente — cambiare o modificare delle forme d'onda. Queste modifiche possono venire efettuate mediante l'uso di circuiti RC ed RL, con appropriate costanti di tempo. I più comuni tra questi circuiti sono il circuito **differenziatore** ed il circuito **integratore**.

Circuiti di differenziatori — Tali circuiti producono una tensione di uscita le cui ampeizza è proporzionale alla velocità di variazione della tensione d'entrata. Ad esempio, se la tensione d'ingresso è di 5 volt all'istante $t = 2$, e 6 volt all'istante $t = 3$, la velocità di variazione è di 10 volt per microsecondo (ossia 10 per 10^6 volt per secondo).

Supponiamo che questa tensione venga applicata ad un differenziatore la cui uscita sia eguale alla velocità di variazione in microsecondi. In questo caso si ottiene una tensione di uscita di 10 volt. Di conseguenza, applicando un'entrata massima di 6 volt, si ottiene un'uscita di 10 volt, ossia un'uscita maggiore.

Ci limiteremo a considerare il più semplice tipo di circuito differenziatore, rappresentato alla **figura 19**. Còme si vede, esso è costituito da un semplicissimo circuito RC. Può venire usato per la differenziazione un condensatore, per il fatto che la corrente che lo attraversa è eguale alla velocità di variazione della tensione applicata, moltiplicata per la capacità del condensatore stesso. Essendo quest'ultima una costante, la corrente risulta proporzionale alla velocità di variazione della tensione.

Spesso è molto più conveniente avere in uscita una tensione invece che una corrente, per cui in serie al condensatore si dispone la resistenza R: in questo caso, ai capi della resistenza, si determina una tensione proporzionale alla velocità di variazione della tensione presente all'ingresso, anche la tensione ai capi della resistenza R sarà proporzionale alla velocità di variazione. Per questa ragione, il circuito ora descritto può essere utilizzato in qualità di differenziatore.

Consideriamo ora le tensioni d'uscita di un differenziatore, che si ottengono applicando in entrata i più comuni tipi di forme d'onda. Supponiamo innanzitutto di applicare all'ingresso una tensione continua. In questo caso, per quanto elevata sia la tensione applicata, essa rimane costante, ossia la sua velocità di variazione è zero. Pertanto, anche la tensione di uscita sarà zero.

Vediamo invece ciò che accade quando si applica all'ingresso di un circuito differenziatore una tensione che aumenta uniformemente, secondo una linea retta. Una tensione di questo tipo può considerarsi analoga a quella rappresentata dal tratto inclinato della forma

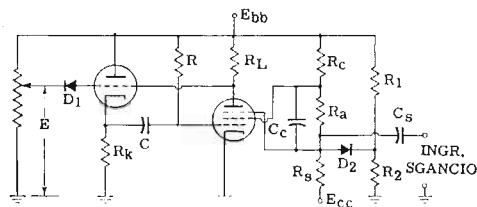



Fig. 18 - Circuito oscillatore a dente di sega del tipo « phantastron », derivato dal circuito « Miller ». Consente la produzione di segnali molto più regolari.

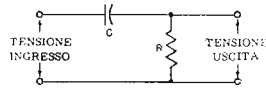



Fig. 19 - Esempio elementare di un circuito differenziatore. Il funzionamento si basa sulla caratteristica della costante di tempo RC. La corrente è proporzionale alla velocità di variazione della tensione applicata.

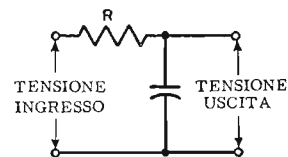



Fig. 20 - Circuito integratore, analogo al circuito differenziatore di figura 19. Come si nota, i componenti R e C sono stati invertiti. E' paragonabile ad un filtro elementare del tipo « passa basso ».

d'onda a dente di sega. In questo caso, la tensione aumenta in modo costante: la velocità di variazione è positiva (poichè la tensione aumenta) e costante. All'uscita del diferenziatore si ottiene pertanto una tensione continua positiva. Il valore di questa tensione dipende, naturalmente, dai valori scelti per *C* ed *R*.

Analogamente, una tensione che decresce uniformemente (tratto inclinato di un dente di sega negativo), determina all'uscita una tensione continua, ma questa volta negativa. Ciò perchè quando una tensione diminuisce, la sua velocità di variazione è appunto negativa.

Tenendo presenti questi tre casi fondamentali, risulterà facile al lettore determinare le tensioni che si ottengono all'uscita del differenziatore immettendo alla sua entrata qualunque tipo di forma d'onda avente un andamento geometrico (onda quadra, onda rettangolare, ad impulsi, a dente di sega, onde trapezoidali, ecc.).

Nel caso che la forma d'onda presente all'ingresso abbia — nel suo andamento — dei tratti curvilinei, la tensione che si ottiene all'uscita di un differenziatore non può venire determinata così facilmente. In tal caso, si ricorre a metodi matematici di natura abbastanza complessa. In base a questi metodi, comunque, si perviene alla conclusione che, per una tensione di ingresso sinusoidale, si ottiene una tensione di uscita ancora sinusoidale, ma sfasata di 180°

Se consideriamo che il circuito differenziatore è pressochè identico agli accoppiatori a resistenza e capacità che si usano spesso negli amplificatori, vediamo che tale tipo di accoppiamento risulta adeguato nel caso di forme d'onda sinusoidali, mentre nel caso di forme d'onda d'onda di altro tipo può, in generale, determinare modifiche rilevanti nel loro andamento. Nella tabella 81 della lezione che segue, rappresentiamo le forme d'onda che si ottengono all'uscita di un circuito differenziatore, in considerazione di diversi tipi di tensioni d'ingresso. Occorre ancora considerare che la risposta del circuito alle variazioni di tensione d'ingresso dipende dalla costante di tempo. Se questa è molto bassa, sono validi i ragionamenti finora da noi svolti. Nel caso di costanti di tempo più elevate occorre, per determinare le forme d'onda all'uscita, tener conto che la risposta del circuito viene notevolmente rallentata.

Circuiti integratori. — Un circuito integratore può essere considerato come un circuito di accumulo, la cui tensione di uscita è proporzionale al totale dell'energia imagazzinata. Il tipo più classico di circuito integratore, è rappresentato alla **figura 20**. Il principio di funzionamento è molto semplice. Come infatti sappiamo, la tensione presente ai capi di un condensatore è proporzionale alla carica elettrica. Più alta è detta carica, più alta è la tensione presente ai suoi capi. Se applichiamo al condensatore una corrente costante, la tensione aumenta con velocità costante. In teoria, quindi, basterebbe un condensatore per costituire un circuito integratore. La resistenza in serie si aggiunge per il fatto che è di solito più comodo integrare delle tensioni e non delle correnti, ossia applicare all'entrata del circuito segnali sotto forma di tensione. In tal caso, le tensioni che si applicano all'ingresso, determinano il fluire di una corrente, ad esse proporzionale, nella resistenza *R*, e quindi anche nel condensatore *C*.

Il circuito integratore di figura 20 può considerarsi dello stesso tipo di un filtro passa basso. L'unica differenza consiste nel fatto che, perchè possa agire come circuito integratore, occorre che la sua costante di tempo sia per lo meno dieci volte più elevata.

Un altro tipo di circuito integratore si può ottenere disponendo in serie tra loro una resistenza ed un'induttanza. In tal caso, il segnale di ingresso si applica agli estremi dell'assieme, mentre l'uscita viene prelevata ai capi della sola resistenza. Il funzionamento si basa sul fatto che, applicando ai capi di una induttanza una tensione costituita da impulsi rettangolari, durante il tratto positivo dell'impulso la corrente cresce con continuità dal valore zero ad un certo valore massimo, limitato alla durata dell'impulso. Naturalmente, occorre che la durata di quest'ultimo sia notevolmente inferiore alla costante di tempo del circuito integratore. Anche in questo caso, la resistenza che si dispone in serie, ha lo scopo di trasformare la variazione di corrente in variazione di tensione proporzionale.

Volendo progettare un tale tipo di circuito occorre, tuttavia, tenere conto della capacità distribuita, relativa all'avvolgimento dell'induttanza. Essa infatti, unita all'induttanza stessa, costituisce un circuito *LC*, che tende ad oscillare sulla propria frequenza di risonanza. Anche progettando con grande cura l'induttanza, non si riesce, sempre, ad eliminare tale tipo di oscillazioni parassite, che spesso si mescolano al segnale d'uscita.

DOMANDE sulle LEZIONI 91ª e 92ª

N. 1 —
Come si riesce a scomporre un segnale periodico avente una forma d'onda di tipo qualunque?

N. 2 —
Quali sono i diversi tipi di simmetria che può presentare una forma d'onda periodica?

N. 3 —
Le formule che dànno la reattanza induttiva e capacitiva, sono valide nel caso di qualunque segnale periodico che attraversa un'induttanza o un condensatore?

N. 4 —
Quali sono i due metodi fondamentali che permettono di prevedere il comportamento di una forma d'onda non sinusoidale, al suo passaggio attraverso un qualunque tipo di circuito elettronico?

N. 5 —
Quali sono i tipi di forme d'onda geometriche di uso più comune in elettronica?

N. 6 —
Quali armoniche mancano nei segnali ad onda quadra?

N. 7 —
Qual'è il principale fattore che determina l'ampiezza della banda passante che deve possedere un circuito, per non distorcere segnali non sinusoidali?

N. 8 —
Come si definiscono il « tempo di durata », il « tempo di salita » ed il « tempo di discesa » di un impulso?

N. 9 —
Quali sono gli effetti di un cattivo responso alle frequenze basse sui segnali ad impulsi?

N. 10 —
Quali sono gli effetti determinati da un cattivo responso del circuito alle frequenze basse sui segnali ad impulsi?

N. 11 —
Qual'è il tipo di segnale che si ottiene all'uscita dei circuiti multivibratori? Per quale ragione?

N. 12 —
Tra i diversi tipi di circuiti multivibratori, quali devono essere necessariamente eccitati mediante impulsi esterni, e quali invece possono oscillare da soli?

N. 13 —
Come si può pervenire alla sincronizzazione di un multivibratore astabile?

N. 14 —
Su quale fenomeno è basato il funzionamento della maggior parte dei generatori di segnali a dente di sega?

N. 15 —
Quale effetto si ottiene facendo passare un segnale di forma qualunque in un circuito differenziatore?

N. 16 —
Quale effetto si ottiene facendo passare un segnale di forma qualunque in un circuito integratore?

N. 17 —
Qual'è il principio di funzionamento su cui è basato l'oscillatore autobloccante?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 713

N. 1 — Tre: meccanico, ottico e magnetico.

N. 2 — A controllare l'esattezza e la costanza della velocità di rotazione di un disco.

N. 3 — L'intermittenza della luce fornita da una lampada a filamento alimentata da una corrente alternata, e l'inerzia della retina dell'occhio umano.

N. 4 — Due: in senso verticale ed in senso laterale. Attualmente viene adottato solo il senso laterale.

N. 5 — Che la sorgente luminosa sia alimentata da una corrente alternata.

N. 6 — In due modi: ad ampiezza costante ed a velocità costante.

N. 7 — La testina di registrazione converte i segnali elettrici in vibrazioni meccaniche della puntina: la testina di riproduzione converte invece le vibrazioni meccaniche della puntina in segnali elettrici.

N. 8 — Due: i tipi sensibili alla variazione di velocità di vibrazione della puntina e quelli sensibili invece alle variazioni dell'ampiezza di vibrazione.

N. 9 — Per correggere l'errore di tangenzialità rispetto al solco. Tale errore determina notevoli distorsioni all'inizio ed alla fine del disco.

N. 10 — Nei corpi ferromagnetici dolci, il magnetismo cessa non appena scompare la forza che lo determina. Nei corpi ferromagnetici duri, invece, permane.

N. 11 — La pre-magnetizzazione del nastro mediante una corrente a frequenza supersonica (ossia non udibile), alla quale viene sovrapposta la registrazione.

N. 12 — Facendo passare il nastro magnetico, con velocità rigorosamente costante, immediatamente davanti al traferro di un nucleo magnetico, eccitato dalle correnti foniche adeguatamente amplificate.

N. 13 — No. Infatti, particolarmente nei registratori economici, una sola testina viene usata per entrambi gli scopi. In tal caso esistono dei circuiti di commutazione che inseriscono automaticamente la testina allo ingresso o all'uscita dell'amplificatore, rispettivamente in riproduzione o in registrazione.

N. 14 — Facendo scorrere il nastro, con la consueta velocità, davanti ad una testina eccitata da una corrente a frequenza ultrasonica, con intensità adeguata.

N. 15 — La fedeltà del microfono, quella dell'amplificatore, la qualità della testina e la velocità di scorrimento del nastro.

N. 16 — Perchè in tal caso ogni ciclo di una frequenza elevata può esercitare la sua azione magnetizzante su un segmento di nastro la cui larghezza è maggiore di quella di una particella di ferro contenuta nell'ossido ivi depositato.

N. 17 — Facendo in modo che la curva di responso alla frequenza dell'amplificatore sia tale da compensare la non linearità.

N. 18 — Cinque volte la massima frequenza fonica da registrare.

N. 19 — Consentire un controllo che eviti di raggiungere livelli del segnale che magnetizzano il nastro fino alla saturazione.

In questa tabella riuniamo, per comodità del lettore, una serie di schemi di circuiti multivibratori a valvole, con relativi valori del componenti. A fianco degli schemi di impiego più frequente sono indicate le forme d'onda del segnale presente sui vari elettrodi delle valvole.

Le sigle indicate negli schemi e nelle forme d'onda hanno il seguente significato:

E_{bb} = massima tensione positiva (anodica)

E_{cc} = massima tensione negativa (polarizzazione di griglia)

E_{co} = tensione di interdizione della valvola

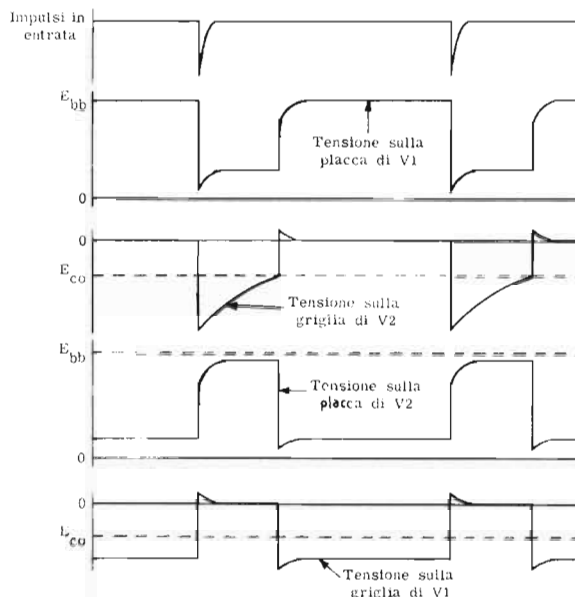
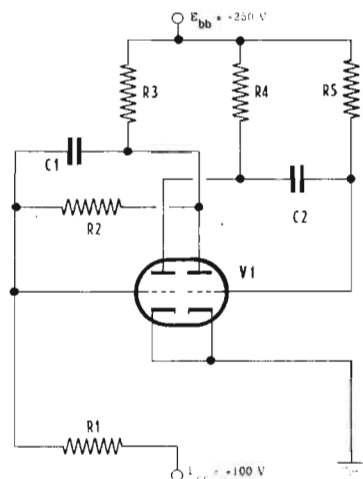
Sono dapprima rappresentati due esempi di circuiti multivibratori bistabili, uno dei quali di tipo normale, impiegante un doppio triodo *12AU7*, e l'altro di tipo speciale, funzionante con quattro pentodi *E180F*. Quest'ultimo multivibratore peresenta la caratteristica di un tempo di salita e di discesa estremamente breve, ed è quindi atto a generare onde rettangolari a frequenza molto elevata.

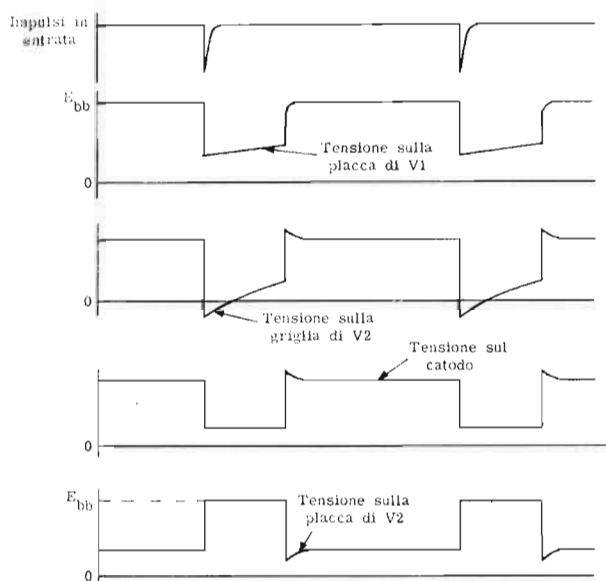
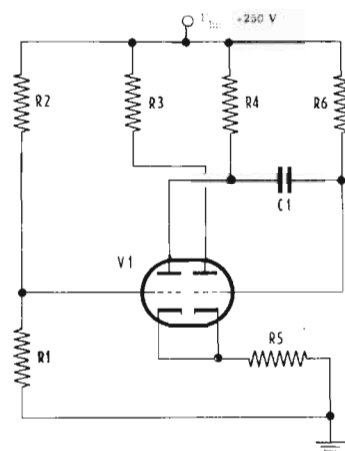
Vi sono poi due tipi di multivibratori monostabili: uno con accoppiamento placca-griglia e l'altro con accoppiamento di catodo. Infine, è rappresentato lo schema di un multivibratore astabile, funzionante con un doppio triodo *6J6* (oppure *ECC91*).

Poichè questi circuiti sono tutti di realizzazione e messa a punto assai facile, consigliamo la costruzione di almeno uno di essi, che potrà venire montato su un piccolo telaio di alluminio. Per l'alimentazione si può usufruire di un alimentatore separato.

Quando, nelle prossime due lezioni, studieremo lo oscillografo a raggi catodici, e descriveremo la costruzione di uno di questi strumenti, chi lo realizzerà praticamente potrà osservare direttamente sullo schermo le forme d'onda (da noi rappresentate nella colonna di destra) collegando l'entrata dello strumento ai piedini relativi ai vari elettrodi.

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE con ACCOPPIAMENTO PLACCA - GRIGLIA

R1 = 1 Mohm
R2 = 1,5 Mohm
R3 = 25 kohm
R4 = 100 kohm
R5 = 1 Mohm
C1 = 47 pF
C2 = 700 pF
V1 = 12AU7 (ECC82)

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE con ACCOPPIAMENTO di CATODO

R1 = 100 kohm
R2 = 1 Mohm
R3 = 10 kohm
R4 = 47 kohm
R5 = 3,3 kohm
R6 = 1 Mohm
C1 = 800 pF
V1 = 6J6 (ECC91)

MULTIVIBRATORE ASTABILE

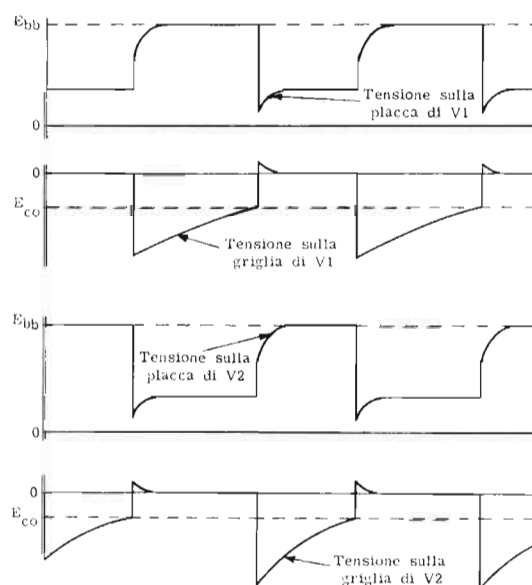
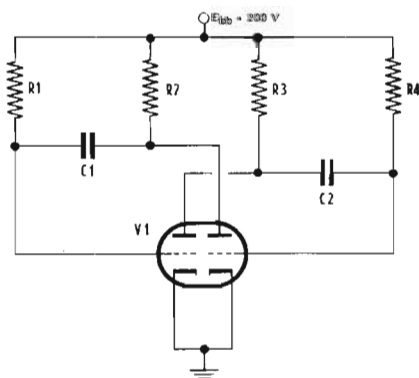
R1 = 1 Mohm
R2 = 12 kohm
R3 = 12 kohm
R4 = 1 Mohm
C1 = 115 pF
C2 = 115 pF
V1 = 6J6 (ECC91)

Questo tipo di multivibratore, pur potendo essere impiegato quale generatore liberamente oscillante, viene di solito anch'esso comandato (o meglio, sincronizzato) mediante impulsi. Ciò perchè, senza sincronizzazione, il segnale presente all'uscita ha una frequenza assai instabile.

TABELLA 82 - ESEMPI di CIRCUITI MULTIVIBRATORI a TRANSISTORI

In questa tabella presentiano na serie di schemi di circuiti di multivibratori a transistori, alcuni dei quali con le relative forme d'onda.

Sono presentati diversi tipi di multivibratori bistabili; due tipi di multivibratori monostabili, uno dei quali con accoppiamento tra emettitori; un tipo di multivibratore astabile normale, ed uno con accoppiamento tra gli emettitori. Troviamo infine un esempio di multivibratore con accoppiamento induttivo.

Le sigle usate in riferimento ai segnali presenti ai vari elettrodi dei transistori hanno il seguente significato:

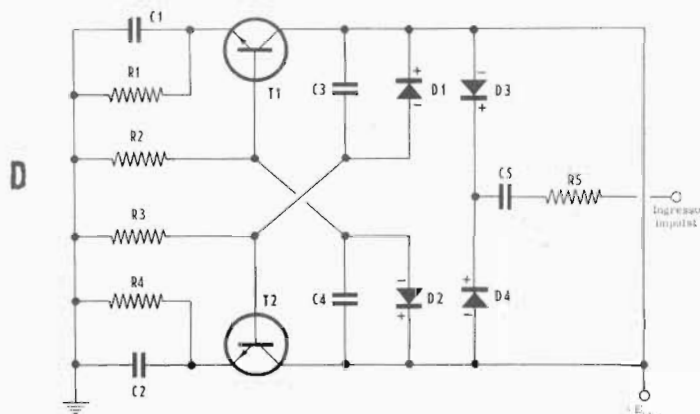
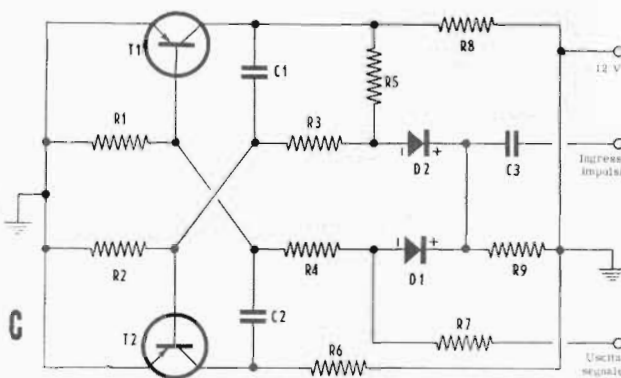
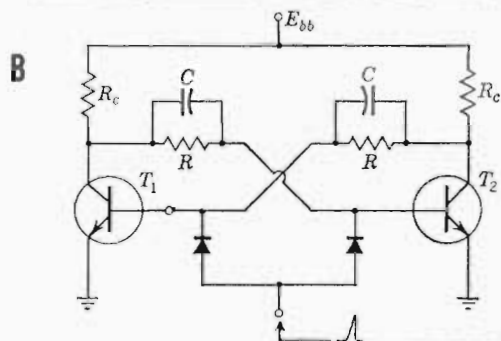
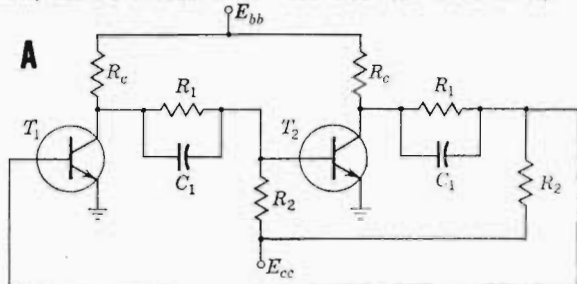
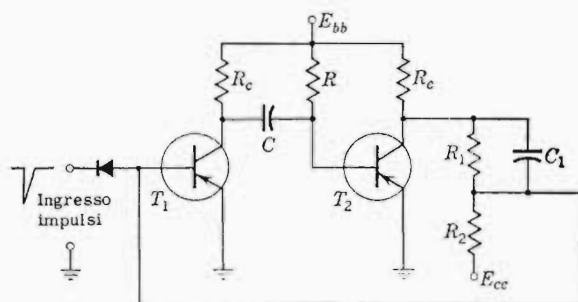
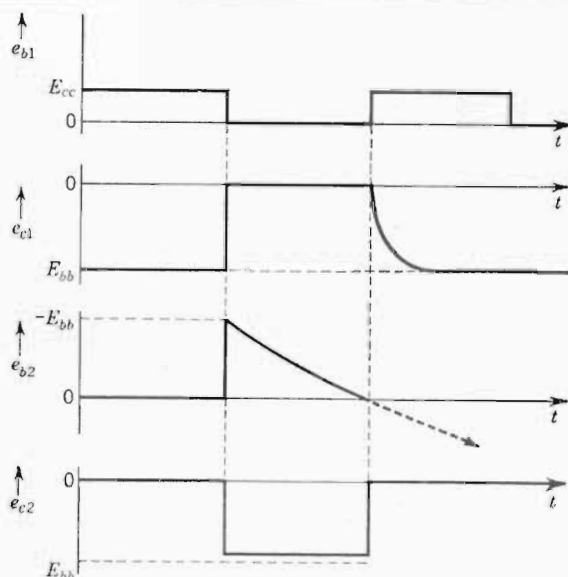
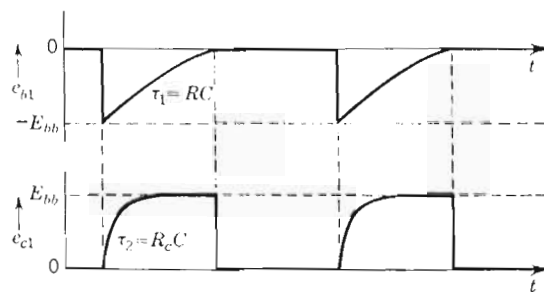
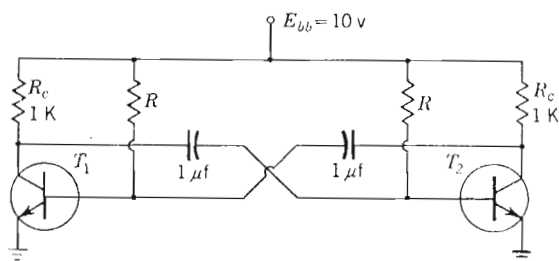
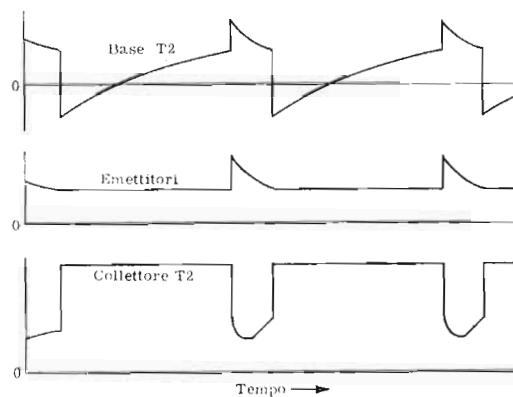
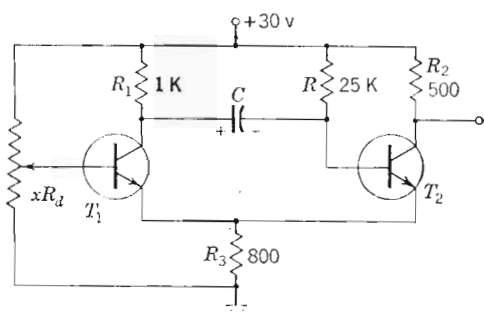
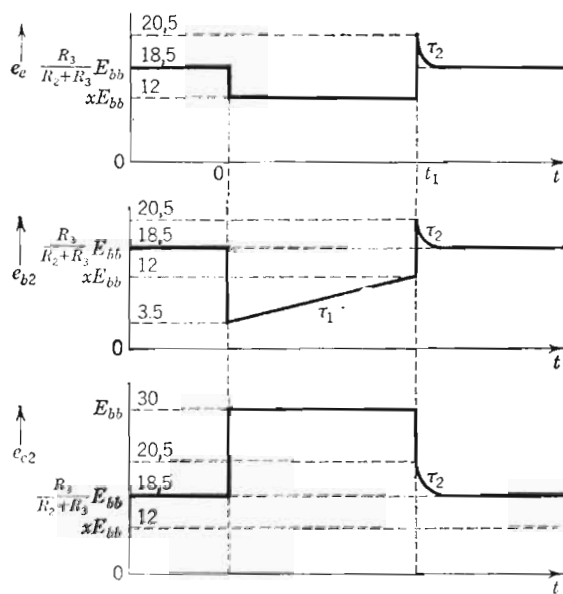
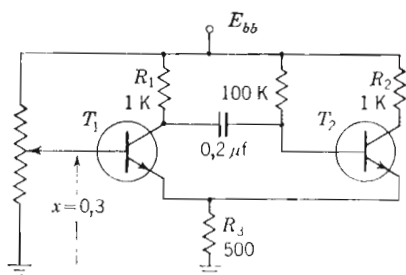
1) e_{c1} = tensione presente sul collettore di T1; e_{c2} = tensione presente sul collettore di T2.

2) e_{b1} = tensione sulla base di T1; e_{b2} = tensione sulla base di T2.

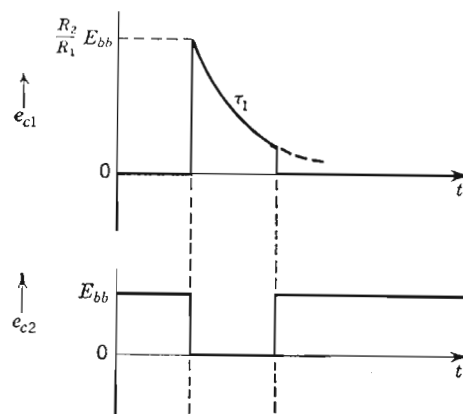
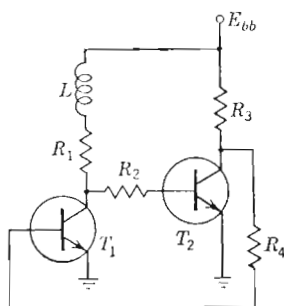
3) e_e = tensione sugli emettitori.

Anche questa volta, quegli schemi in cui vengono indicati anche i valori pratici, possono venire facilmente realizzati. I transistori da usare sono, in questo caso, dei normali tipi per Bassa Frequenza (OC 70, OC 71, OC 76).

MULTIVIBRATORI BISTABILI a TRANSISTORI

In **A** vediamo il più semplice esempio di multivibratore bistabile a transistori; in **B** si può osservare un circuito analogo, provvisto però di ingresso per impulsi di comando positivi. Un altro circuito di questo tipo, lievemente più complesso, è rappresentato in **C**; in questo caso gli impulsi di comando possono essere costituiti da onde quadre. Per evitare che in questi circuiti i transistori lavorino in zona di saturazione a causa del notevole ritardo che interviene nel passaggio dalla zona di conduzione alla zona di interdizione, occorre introdurre altri due diodi (D1 e D2 in **D**).

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE a TRANSISTORI

Questo circuito, per il cui funzionamento sono necessari impulsi di comando negativi, è del tutto analogo al circuito corrispondente a valvole. La linea tratteggiata che continua il segnale sulla base di T2, prosegue fino al valore Ebb.

MULTIVIBRATORE ASTABILE A TRANSISTORI

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE con ACCOPPIAMENTO tra gli EMETTITORI

MULTIVIBRATORE ASTABILE con ACCOPPIAMENTO tra gli EMETTITORI

In questo caso uno degli accoppiamenti tra base e collettore è stato sostituito da un collegamento diretto tra i due emettitori. Essi utilizzano infatti un'unica resistenza di polarizzazone

MULTIVIBRATORE con ACCOPPIAMENTO INDUTTIVO

Nei circuiti con accoppiamento a capacità trattati finora, uno delle due condizioni di funzionamento implicava l'interdizione del transistore (o della valvola): in questo caso, invece, questa condizione viene sostituita da quella di saturazione, e l'elemento atto a determinarla non è quindi più un condensatore, bensì un induttanza

Abbiamo qui riunito due tipici schemi di oscillatori autobloccanti a transistori, con forme d'onda relative, e due circuiti generatori di denti di sega del tipo « Miller », di cui uno a valvola ed uno a transistore. La differenza tra i circuiti « Miller » qui rappresentati e quelli illustrati alla lezione precedente deriva dal tipo di valvola impiegata. I circuiti « Miller » a triodo, qui descritti, hanno un tempo di risposta più lungo di quelli a pentodo, descritti alla lezione precedente.

In **A** vediamo il più semplice tipo di oscillatore autobloccante a transistori, le cui forme d'onda sugli elettrodi sono rappresentate in **B**. Per ottenere che il transistore non funzioni oltre il limite di saturazione, si inserisce nel circuito il diodo Zener D_S, che inizia a condurre appunto prima di questo limite (caso **C**). L'altro diodo D_B conduce quando la tensione è superiore ad E_B. In tal modo si ottiene sul collettore la forma d'onda rappresentata in **D**.

I generatori Miller possono funzionare sia con un pentodo che con un triodo (od un transistore). Il principio di funzionamento è il medesimo se si eccettua il fatto che — nel caso del pentodo — non si rende necessario l'interruttore esterno, poichè basta applicare degli impulsi di tensione apprcpriata al soppressore per ottenere questa funzione. Inoltre, nel caso del pentodo, si ha un tempo di risposta più veloce. In A vediamo rappresentato un generatore Miller a transistore, mentre in **B** e **C** abbiamo un generatore a triodo, del tutto equivalente al precedente, con le relative forme d'onda.

Ricevitore portatile SM/3350

6 transistori + 1 diodo al germanio — Alta sensibilità — Potenza d'uscita indistorta di 400 mW — Alimentazione con due pile incorporate, da 6 volt — Circuito stampato — Dimensioni di cm 20 × 12 × 5.

Scatola di montaggio, completa di tutto il necessario . . . . Lire 15.300

I DUE RICEVITORI A TRANSISTORI E A CIRCUITO STAMPATO

descritti alle lezioni 86ª e 87ª possono essere

CON FACILITÀ ed in BREVE TEMPO da VOI STESSI COSTRUITI

Ricevitore tascabile SM/19

6 transistori + 1 diodo al germanio — Alta sensibilità — Elevato rendimento acustico — Mobile in plastica antiurto — Circuito stampato — Alimentazione con batteria da 9 volt — Autonomia di 50 ore circa — Peso di 230 grammi — Può funzionare con rete luce a mezzo di apposito alimentatore (I/600).

Scatola di montaggio, completa di tutto il necessario . . . . Lire 12.500

Rivolgetevi alle Sedi oppure direttamente alla Sede centrale: Via Petrella, 6 - MILANO

E' uscito il 100° Numero

130 pagine

Chiedete all'edicola

La rivista che, tra quelle del ramo, Vi offre il più alto contenuto informativo a carattere tecnico e commerciale.

Una copia, alle edicole, lire 300

Se siete interessati alla televisione, alla radiotecnica, all'elettronica applicata, è nel Vostro reale tornaconto seguire questa rassegna che, mensilmente, con i suoi numerosi articoli, Vi consente un aggiornamento completo con la costante evoluzione della tecnica e del mercato.

Abbonamento per 12 Numeri. . . . . lire 3.060.

Per gli abbonati al "Corso di Radiotecnica„ . . . . solo lire 2.754.

Abbonamento: "RADIO e TELEVISIONE„ - via dei Pellegrini N. 8/4, conto corrente postale: 3/4545 - Milano

L'abbonamento non ha riferimento all'anno solare e vi da sempre diritto a ricevere 12 Numeri: inoltre, vi invieremo 4 fascicoli in omaggio, da voi scelti tra quelli disponibili, anteriori al N. 97.
Se non disponete dei N.ri 98 e 99 potete farli includere nell'abbonamento.

MANTENETEVI AGGIORNATI CON LA TECNICA RADIO - TV LEGGENDO ASSIDUAMENTE «RADIO e TELEVISIONE»